

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА  
ФАКУЛЬТЕТ ПСИХОЛОГИИ**

На правах рукописи



**ХОХЛОВ НИКИТА АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**МЕЖПОЛУШАРНЫЕ МЕЖМОДАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
КАК ФАКТОР ВЫРАЖЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ  
В ЮНОШЕСКОМ ВОЗРАСТЕ**

19.00.04 – Медицинская психология  
(психологические науки)

Диссертация  
на соискание учёной степени  
кандидата психологических наук

**Научный руководитель:**  
доктор психологических наук, доцент  
Ковязина Мария Станиславовна

Москва – 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Введение</b>                                                                                                           | 4  |
| <b>Глава 1. Математика и математические способности: состояние проблемы</b>                                               | 14 |
| 1.1. Математика и математическая деятельность                                                                             | 14 |
| 1.2. Психологическая организация математических способностей                                                              | 20 |
| 1.3. Методики диагностики математических способностей                                                                     | 29 |
| <b>Глава 2. Роль межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия в обеспечении математических способностей</b>   | 34 |
| 2.1. Развитие научных представлений о функциональной неравнозначности полушарий головного мозга                           | 34 |
| 2.2. Приёмы и методы диагностики межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия                                 | 44 |
| 2.3. Межполушарные отношения как фактор выраженности математических способностей                                          | 53 |
| <b>Глава 3. Роль межмодального взаимодействия в обеспечении математических способностей</b>                               | 62 |
| 3.1. Проблема взаимодействия анализаторов                                                                                 | 62 |
| 3.2. Межмодальное взаимодействие как фактор выраженности математических способностей                                      | 71 |
| <b>Глава 4. Предварительные исследования</b>                                                                              | 80 |
| 4.1. Методические проблемы исследования функциональной межполушарной асимметрии в нейропсихологии индивидуальных различий | 80 |
| 4.2. Стандартизированная модификация опросника М. Аннетт для оценки функциональной мануальной асимметрии                  | 84 |
| 4.3. Латеральные признаки, структурно-уровневые характеристики интеллекта и математические способности                    | 88 |
| 4.4. Прямые и косвенные эффекты влияния межполушарной асимметрии на математические способности                            | 91 |
| 4.5. Влияние адаптации к инверсии зрительного восприятия на слухоречевую асимметрию                                       | 92 |
| 4.6. Влияние сочетания мануальной и слухоречевой асимметрий на показатели дихотического прослушивания                     | 94 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.7. Тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015»                                      | 96  |
| 4.8. Итоги предварительных исследований                                                                                                    | 109 |
| <b>Глава 5. Эмпирическое исследование связи латеральных признаков и их взаимодействия (сочетаний) с математическими способностями</b>      | 111 |
| 5.1. Проблема, цель и задачи исследования                                                                                                  | 111 |
| 5.2. Характеристика испытуемых                                                                                                             | 113 |
| 5.3. Методы и методики исследования                                                                                                        | 113 |
| 5.4. Результаты исследования                                                                                                               | 118 |
| 5.5. Обсуждение результатов исследования                                                                                                   | 130 |
| 5.6. Выводы                                                                                                                                | 134 |
| <b>Глава 6. Эмпирическое исследование связи межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок с математическими способностями</b> | 135 |
| 6.1. Проблема, цель и задачи исследования                                                                                                  | 135 |
| 6.2. Характеристика испытуемых                                                                                                             | 137 |
| 6.3. Методы и методики исследования                                                                                                        | 137 |
| 6.4. Результаты исследования                                                                                                               | 143 |
| 6.5. Обсуждение результатов исследования                                                                                                   | 146 |
| 6.6. Выводы                                                                                                                                | 148 |
| <b>Заключение</b>                                                                                                                          | 150 |
| <b>Выводы</b>                                                                                                                              | 156 |
| <b>Список литературы</b>                                                                                                                   | 158 |
| <b>Приложения</b>                                                                                                                          | 194 |
| Приложение 1. Задания теста на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015»                    | 194 |
| Приложение 2. Список испытуемых, принимавших участие в исследовании                                                                        | 206 |
| Приложение 3. Схема методики диагностики эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок                          | 209 |

## Введение

### Актуальность

Проблема связи сложноорганизованных психических процессов со структурно-функциональными особенностями строения и работы мозга является центральной в нейропсихологии (Лурия, 1962, 1973; Хомская, 2010). Основным методом нейропсихологического исследования выступает синдромный анализ, позволяющий проводить топическую диагностику на основе сопоставления первичного дефекта и его вторичных (системных) последствий с теоретическими представлениями о локализации синдромообразующих мозговых структур (нейропсихологических факторов), опирающимися на накопленные эмпирические данные. Данный метод успешно зарекомендовал себя в клинической практике и позволил расширить научные представления о мозговом обеспечении психических функций (Корсакова, Московичюте, 2003; Тонконогий, Пуанте, 2007; Цветкова, 2008; Бизюк, 2010; Балашова, Ковязина, 2012; Глозман, 2012; Визель, 2013; Цветкова, Цветков, 2017). Однако синдромный анализ может полноценно применяться только на модели мозговых поражений. Основным допущением является перенос результатов, полученных в клинической нейропсихологии, на мозговую организацию психических функций в норме.

Альтернативой выступает нейропсихология индивидуальных различий (дифференциальная нейропсихология), цель которой состоит в выявлении индивидуально-психологических особенностей людей и различий между ними, обусловленных вариативностью морфофункциональной организации здорового мозга (The Neuropsychology..., 1994). Обосновывая необходимость развития нейропсихологии индивидуальных различий, Е.Д. Хомская с соавторами (1997, с. 3) писала: «При изучении любых функций, их структуры, их мозговых механизмов (что составляет, как известно, основную задачу всех нейропсихологических исследований) неизбежно встаёт вопрос о норме функции (процесса, состояния, личностных параметров и т.д.). Понятие нормы для медицинской психологии вообще и для нейропсихологии, в частности, является отправной точкой в рассуждениях о нарушениях каких бы то ни было психических явлений, изучение которых и составляет её предмет». Наиболее распространённой является типология индивидуальных различий, опирающаяся на закономерности межполушарных отношений – межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия (Хомская, Ефимова, 1989, 1991; Хомская и др., 1997, 2011; Москвин, 1990, 2002; Москвин, Москвина, 2011).

В настоящей работе изучаются нейропсихологические характеристики, являющиеся фактором выраженности математических способностей в юношеском возрасте (15-25 лет). Здесь и далее слово «фактор» употребляется не в узком нейропсихологическом значении, а как «движущая сила, причина какого-нибудь процесса, обуславливающая его или определяющая его характер, существенное обстоятельство» (Ушаков, 2013, с. 718). Интерес к математическим способностям продиктован как высокой практической значимостью данной проблемы, так и неоднозначностью накопленных в науке сведений об их мозговом обеспечении. С проявлениями математических способностей сталкивается каждый человек, обучающийся в школе. Одним людям изучение математики даётся легко, другие тратят большие усилия на её освоение, но всё равно не могут достигнуть успеха в математической деятельности. Индивидуальные различия в математических способностях могут повлиять на выбор профессии в юношеском возрасте и тем самым воздействовать на всю дальнейшую жизнь человека. Имеются противоречивые данные о преимуществе в математических способностях лиц с относительным функциональным доминированием правого или левого полушария. В одних исследованиях математические способности оказываются связанными с работой правого полушария (Annett, Kilshow, 1982; Матова, 1987; Лукьянчикова, 2006; Knops, Willmes, 2014); в других – с работой левого (Ashcraft, Yamashita, Aram, 1992; Lampl et al., 1994; Clarke, Deheane, 1996; Rickard et al., 2000; Аршавский, 2001); в третьих – с эффективностью межполушарного взаимодействия (Разумникова, 2004; Singh, O'Boyle, 2004). Психофизиологические исследования демонстрируют, что оба полушария обеспечивают реализацию различных компонентов арифметической деятельности при преобладающем значении левополушарных механизмов (Иваницкая, Богун, 2007; Айдаркин, Богун, Щербина, 2010; Айдаркин, Богун, 2010; Айдаркин, Фомина, 2011, 2012; Aydarkin, Fomina, 2013).

Причина неоднозначности этих результатов заключается в том, что разные исследователи по-разному понимают способности в целом и математические способности в частности. Кроме того, в разных работах выделяют разные компоненты математических способностей. Очевидно, что каждый из этих компонентов может быть связан с разными нейропсихологическими характеристиками. Другой причиной противоречивости получаемых результатов является использование альтернативных приёмов и методов оценки межполушарной асимметрии. Межполушарные отношения характеризуются множественностью составляющих, а получаемые с помощью разных методик данные могут быть по-разному интерпретированы в зависимости от теоретических представлений автора. Отчасти на это влияет недостаточная разработанность математико-статистического аппарата и некорректность использования имеющихся статистических

критериев для анализа данных, получаемых при исследовании межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия. Текущий этап развития дифференциальной нейропсихологии характеризуется методологическим кризисом, разрешение которого, на наш взгляд, возможно лишь при расширении исходной типологии и обязательной математической верификации получаемых результатов.

Закономерности межполушарных отношений не являются единственно возможным основанием нейропсихологической типологии индивидуальных различий. В современной нейропсихологии всё большее внимание уделяется интегративной деятельности головного мозга, обеспечиваемой взаимосвязью его участков (Ковязина, 2012, 2014; Микадзе, Андреева, 2013). Имеются многочисленные сведения о роли межмодального взаимодействия в обеспечении математических операций (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993; Cohen Kadosh, Henik, 2008; Green, Goswami, 2008; Mills et al., 2009; Ghirardelli et al., 2010; Arend, Gertner, Henik, 2013; Brogaard, Vanni, Silvanto, 2013; McCarthy et al., 2013; Hale et al., 2014) и познавательной деятельности в целом (Кравков, 1948; Ramachandran, Hubbard, 2001; Spence, Senkowski, 2009; Doehrmann, Naumer, 2008; Yau et al., 2009; Amedi et al., 2010; Spence, 2011; Simner, Ludwig, 2012). Есть основания полагать, что дополнение имеющейся типологии индивидуальных различий особенностями межмодального взаимодействия позволит снять имеющиеся противоречия в результатах исследования нейропсихологических механизмов математических способностей.

Таким образом, в современной дифференциальной нейропсихологии существует разрыв между накопленными данными о межмодальной природе психических процессов и представлениями об индивидуальных различиях в математических способностях, обусловленных особенностями функциональной латерализации мозга. Актуальность исследования заключается в изучении роли межполушарного и внутримушарного межмодального взаимодействия в обеспечении компонентов математических способностей в юношеском возрасте.

Термин **«межмодальное взаимодействие»** используется для обозначения психической репрезентации совместного функционирования анализаторных систем, обеспечивающего целостное восприятие окружающего мира. Межмодальные взаимодействия осуществляются на разных уровнях организации психических процессов, обладают различной степенью произвольности и осознанности и включают в себя как влияние отдельных ощущений друг на друга, так и объединение отдельных ощущений при активном формировании полимодального предметного образа. В настоящей работе исследуются два аспекта межмодального взаимодействия. Во-первых, межмодальное взаимодействие фиксируется на уровне статистического взаимодействия латеральных

признаков, отражающих функциональную межполушарную асимметрию анализаторов. Статистическое взаимодействие в данном контексте означает совместное влияние двух и более латеральных признаков на какую-либо психологическую переменную, не наблюдаемое при изолированном изучении этих латеральных признаков. Межмодальное взаимодействие проявляется в связи сочетаний асимметрий разных анализаторов с психологическими характеристиками. Во-вторых, в работе исследуются межмодальные перешифровки, понимаемые как вид межмодального взаимодействия, представляющий собой возможность произвольно и осознанно перешифровывать информацию, поступающую на вход одного анализатора, в информацию, поступающую на вход другого анализатора. Эффективность межмодальных перешифровок отражает способность переводить информацию из одной модальности в другую.

Термином **«математические способности»** обозначаются индивидуально-психологические особенности личности, способствующие лёгкому и успешному изучению математики, не сводимые к положительному отношению к математической деятельности, характерологическим чертам, психическим состояниям, знаниям, умениям и навыкам. В настоящей работе выделяются арифметический, алгебраический и геометрический компоненты математических способностей. Арифметические способности предполагают выполнение элементарных вычислений с учётом принятого порядка действий на материале действительных чисел. Алгебраические способности обеспечивают выполнение операций с выраженными буквами математическими величинами вне зависимости от их числового значения. Геометрические способности необходимы для оперирования пространственными структурами и отношениями, представленными в виде математических объектов.

**Цель исследования** – выявить специфику и степень влияния индивидуальных различий в межполушарном и внутриполушарном межмодальном взаимодействии на выраженность математических способностей в юношеском возрасте.

**Объект исследования:** математические способности у здоровых людей юношеского возраста, имеющих различную эффективность межполушарных и внутриполушарных межмодальных взаимодействий.

**Предмет исследования:** индивидуальные различия в выраженности компонентов математических способностей, обусловленные вариативностью межполушарных и внутриполушарных межмодальных взаимодействий.

В работе решались следующие **задачи**:

1. Анализ отечественной и зарубежной литературы, содержащей сведения о психологической сущности математики, математической деятельности и организации

математических способностей, роли межполушарной асимметрии, межполушарного и межмодального взаимодействия в обеспечении математических способностей.

2. Анализ и обобщение результатов проведённых самостоятельно или в соавторстве предварительных исследований, посвящённых решению методических проблем нейропсихологического исследования функциональной межполушарной асимметрии; изучению связи латеральных признаков в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах с математическими способностями; выявлению фактов, указывающих на важность учёта межмодального взаимодействия при изучении межполушарных отношений в нейропсихологии.

3. Разработка и модификация методов и методик исследования функциональной межполушарной асимметрии с учётом результатов предварительных исследований, выявивших недостатки и ограничения применения имеющихся диагностических средств; создание теста на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015»; создание методики диагностики эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок.

4. Эмпирическое исследование связи латеральных признаков и их статистического взаимодействия (сочетаний) с математическими способностями.

5. Эмпирическое исследование связи межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок с математическими способностями.

6. Сопоставление полученных результатов с имеющимися литературными данными и их нейропсихологическая интерпретация в рамках теории системной и динамической локализации высших психических функций (ВПФ).

#### **Гипотезы исследования**

**Общая гипотеза:** межполушарные и внутриполушарные межмодальные взаимодействия являются фактором выраженности математических способностей в юношеском возрасте.

#### **Частные гипотезы:**

1. Статистическое взаимодействие (сочетание) латеральных признаков, отражающих функциональную межполушарную асимметрию в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах, является фактором выраженности компонентов математических способностей, причём оно позволит объяснить большую долю их вариативности, чем отдельные латеральные признаки.

2. Выраженность математических способностей связана с общей эффективностью межполушарных и внутриполушарных перешифровок информации между слуховой, слухоречевой и зрительной модальностями.

3. Имеются межполушарные и внутримушарные межмодальные перешифровки, обладающие специфичностью связи с арифметическим, алгебраическим и геометрическим компонентами математических способностей.

4. Выраженность математических способностей связана с эффективностью функционирования как левого, так и правого полушария, а также с межполушарным взаимодействием, при этом вклад каждого из этих факторов в обеспечение разных компонентов математических способностей неодинаков.

**Теоретико-методологической основой** исследования являются: фундаментальные положения отечественной психологии о культурно-исторической природе психики человека (Выготский, 1960), системной и динамической организации высших психических функций (Лурия, 1962, 1973); разработанный в отечественной нейропсихологии подход к изучению индивидуальных различий в мозговом обеспечении ВПФ и психических процессов у здоровых людей (Хомская, Ефимова, 1989, 1991; Хомская и др., 1997, 2011; Москвин, 1990, 2002; Москвин, Москвина, 2011); представления отечественных (Кравков, 1948; Ананьев, 1996; Веккер, 2000; Лупенко, 2008; Москаленко, 2014; Чуприкова, 2015) и зарубежных (Calvert, 2001; Spence, Senkowski, 2009; Spence, 2011) авторов о межмодальной природе психических процессов; выработанное в отечественной психологии понимание способностей как индивидуально-психологических особенностей, от которых зависит лёгкое и успешное овладение умениями и навыками в соответствующей деятельности, не сводимых к положительному отношению к деятельности (интересам, склонностям), характерологическим чертам, психическим состояниям, накопленным знаниям и освоенным способам выполнения действий (Теплов, 1961; Крутецкий, 1968).

**Характеристика выборки.** В исследовании приняли участие 120 здоровых человек в возрасте от 15 до 25 лет (средний возраст –  $18,5 \pm 2,8$ ), из них 27 юношей и 93 девушки. На момент исследования испытуемые не имели неврологических или психических заболеваний, черепно-мозговых травм, сотрясений мозга, нарушений слуха или нескорректированных нарушений зрения. 46 человек обучались в 13 образовательных организациях среднего общего или профессионального образования. Все испытуемые на момент проведения исследования имели образование не ниже основного общего (9 классов). 56 человек обучались в московских вузах на нематематических специальностях. Одна испытуемая имела полное среднее образование и на момент исследования нигде не обучалась. 17 человек являлись выпускниками вузов и имели высшее образование по нематематическим специальностям. Никто из испытуемых не занимался

профессиональной математической деятельностью. 78 испытуемых были задействованы в обеих частях исследования.

**Методы и методики.** В качестве основного метода исследования применялся психодиагностический метод. Он дополнялся корреляционным и квазиэкспериментальным методами, а также математическим моделированием с использованием регрессионных уравнений. Для измерения математических способностей использовался авторский тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015» (Хохлов, 2015е). Диагностика параметров межполушарных отношений проводилась с помощью самоотчёта о мануальной асимметрии; стандартизированной модификации опросника М. Аннетт (Annett, 1970) для оценки функциональной мануальной асимметрии (Хохлов, Бурова, 2014); нейропсихологических проб на латеральные признаки: «Переплетение пальцев рук», «Поза Наполеона», «Аплодирование», «Прицеливание», пробы Розенбаха (Лурия, 1962); дихотического прослушивания (Котик, 1974); авторского метода вычисления интегрального показателя межполушарной асимметрии (Khokhlov, Kovyazina, 2013). Для оценки межмодального взаимодействия применялась авторская методика измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок (Ковязина, Хохлов, 2014; Хохлов, 2015б; Хохлов, Ковязина, 2015, 2016а).

**Научная новизна** результатов исследования. Впервые проведено исследование сочетаний латеральных признаков в мануальной, слухоречевой и зрительной системах и эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок, обуславливающих индивидуальные различия в математических способностях у здоровых людей юношеского возраста, не занимающихся профессиональной математической деятельностью. Разработаны и апробированы новые психодиагностические инструменты, позволяющие количественно измерять параметры функциональной межполушарной асимметрии, эффективность межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок и математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности. Продемонстрирована принципиальная возможность построения регрессионных моделей с метрическими и категориальными переменными для выявления доли вариативности компонентов математических способностей, объясняемой вариативностью нейропсихологических показателей. Выделены межполушарные и внутриполушарные межмодальные взаимодействия, являющиеся фактором выраженности математических способностей в юношеском возрасте. Выявлена степень влияния индивидуальных различий в межполушарном и внутриполушарном межмодальном взаимодействии на выраженность математических способностей в юношеском возрасте.

**Теоретическая значимость исследования.** Результаты работы расширяют имеющиеся в медицинской психологии представления о норме как отправной точке в изучении нарушений психических функций. Установленные факты дополняют сложившиеся представления о роли межполушарных отношений и взаимодействия анализаторных систем в обеспечении компонентов математических способностей. Результаты исследования вносят вклад в разработку более широкой проблемы индивидуальных различий в мозговом обеспечении психологических характеристик. Апробированный в диссертации подход к исследованию функциональных различий в работе здорового мозга создаёт предпосылки для дальнейшего развития дифференциальной нейропсихологии с использованием новой типологии индивидуальных различий, основу которой составляют закономерности межполушарного и внутриволнового межмодального взаимодействия.

**Практическая значимость исследования.** Полученные в исследовании результаты расширяют диагностические возможности дифференциальной нейропсихологии. Большие перспективы для внедрения в практику имеет использование методик диагностики межполушарных отношений и межмодального взаимодействия для предсказания успешности обучения математике (нейропедагогика) и эффективности математической деятельности (профориентация). Разработанный подход к измерению эффективности межполушарных и внутриволновых межмодальных взаимодействий даёт возможность решать новые диагностические задачи не только в нейропсихологии индивидуальных различий, но и в клинической нейропсихологии. Диагностический потенциал апробированных в исследовании методик допускает их частичную модификацию и использование в нейрореабилитационной и психокоррекционной работе.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. В структуре математических способностей у здоровых людей юношеского возраста, не занимающихся профессиональной математической деятельностью, можно выделить арифметический, алгебраический и геометрический компоненты, связанные между собой групповым математическим фактором. Для каждого из них имеются специфические и неспецифические нейропсихологические предикторы.

2. Накопление признаков доминирования левого полушария в обеспечении функционирования анализаторов положительно сказывается на выраженности алгебраических, геометрических и математических способностей в целом. Наиболее значимым предиктором компонентов математических способностей является правосторонняя латерализация в слухоречевой сфере.

3. Статистическое взаимодействие (сочетание) латеральных признаков, отражающих функциональную межполушарную асимметрию в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах, является фактором выраженности математических способностей. Оно позволяет объяснить больше вариативности математических способностей, чем отдельные латеральные признаки. С математическими способностями положительно связано совпадение функциональных асимметрий разных анализаторов, причём наиболее существенным является совпадение слуховой и зрительной асимметрий.

4. Общая эффективность межмодального взаимодействия, проявляющегося на уровне межполушарных и внутриполушарных перешифровок информации между слуховой, слухоречевой и зрительной модальностями, является фактором выраженности математических способностей. При этом имеются межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки, обладающие специфичностью связи с арифметическими, алгебраическими и геометрическими способностями.

5. Выраженность компонентов математических способностей обуславливается эффективностью функционирования правого и левого полушарий головного мозга, а также эффективностью межполушарного взаимодействия. Для арифметического, алгебраического и геометрического компонентов математических способностей вклад этих факторов неодинаков.

**Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов** обеспечены использованием взаимодополняющих методов и методик, соответствующих целям и задачам исследования; достаточным объёмом исследуемой выборки и её репрезентативностью; сочетанием качественного анализа и различных методов математико-статистической обработки, адекватных полученным в исследовании данным.

**Апробация результатов исследования.** Результаты были представлены на всероссийских и международных конференциях: Московском международном конгрессе, посвящённом 110-летию со дня рождения А.Р. Лурии (Москва, 2012); Всероссийской конференции с международным участием «Функциональная межполушарная асимметрия и пластичность мозга» (Москва, 2012); IV Международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодёжи – путь к обществу, основанному на знаниях» (Москва, 2012); Международной заочной научно-практической конференции «Проблемы современной науки и их решения» (Липецк, 2012); Международной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке» (Тамбов, 2013); XXI, XXII, XXIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (Москва, 2014, 2015, 2016); Всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы нейронаук. Функциональная

асимметрия. Нейропластичность. Нейродегенерация» (Москва, 2014); Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием «Вопросы клинической психологии» (Казань, 2014); Конференции «Современные проблемы нейропсихологии и психофизиологии», посвящённой 85-летию со дня рождения Е.Д. Хомской (Москва, 2014); VII Международном конгрессе «Нейрореабилитация – 2015» (Москва, 2015); Всероссийской конференции с международным участием «От истоков к современности: 130 лет организации психологического общества при Московском университете» (Москва, 2015); Второй Всероссийской конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные проблемы нейронаук: функциональная асимметрия, нейропластичность и нейродегенерация» (Москва, 2016). Результаты исследования обсуждались на заседаниях кафедры нейро- и патопсихологии факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова; используются в лекционном курсе «Проблема межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия в клинической психологии» на факультете психологии МГУ имени М.В. Ломоносова. Материалы работы отражены в 27 научных публикациях: 1 методическом пособии, 12 статьях, из них 7 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Web of Science, Scopus, RSCI, а также в изданиях из перечня рекомендованных Минобрнауки РФ, утверждённых Учёным советом МГУ для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 19.00.04 – Медицинская психология (психологические науки), и 14 тезисах докладов.

**Структура и объём работы.** Диссертация изложена на 219 страницах (основной текст – 157 страниц); состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка используемой литературы (465 источников, из них 164 на иностранном языке), 3 приложений. Работа иллюстрирована 5 рисунками и 18 таблицами.

## Глава 1

### Математика и математические способности: состояние проблемы

#### 1.1. Математика и математическая деятельность

Математические знания применяются во многих сферах общественной жизни. Производство, компьютеризация, разработка современных информационных технологий требуют достаточного уровня математической компетентности. Это предполагает и конкретные математические знания, и определённый стиль мышления, вырабатываемый практикой решения математических задач. Как отмечает Ф.М. Касальдеррей (2014, с. 7), «история математики и науки в целом долгое время шли параллельным курсом. Научные и технические открытия, совершённые на каждом этапе истории человечества, были бы невозможны без предшествовавших им открытий в математике. Физика, астрономия, а в последнее время также экономика, общественные науки и все связанные с информацией дисциплины основаны на математике, используют математические модели или применяют математику в качестве вспомогательного инструмента». Высокое практическое значение математики подтверждается её повсеместным применением в большинстве сфер современной жизни. Математика была важна и для древних цивилизаций (Ван дер Варден, 1959; Депман, 1965; Гиллингс, 2011). Существуют разные гипотезы о причинах возникновения математики, наиболее известными из которых являются позиции Геродота, считавшего, что геометрия возникла в Египте для разделения земель после разливов Нила, и Аристотеля, полагавшего, что математика была создана жрецами в свободное время как умственная деятельность, лишённая на начальных этапах практического смысла. Развитию математики способствовали строительство, сельскохозяйственная деятельность, охота и торговля древних людей.

Не существует единого определения математической деятельности. Во многом это связано с разнородностью самой математики. Ещё Платон в диалоге «Государство» указывал на особенности познания математических объектов. Развивая учение о познании, он выделял в сфере умопостигаемого два компонента – разум (ноэзис) и рассудок (дианойя). Разум познаёт идеи, не нуждающиеся ни в каких предпосылках. Сюда относится арифметика, которая изучает умопостигаемые числа. Рассудок же представляет собой способность производить выводные понятия, нуждающиеся в системе аксиом, принимаемых бездоказательно. По мнению Платона, с помощью рассудка познаются математические объекты (пространственные фигуры), однако в геометрии он уступает разуму по степени причастности истине (Платон, 1994). В дальнейшем Прокл ещё больше понизил эпистемологический статус геометрии по отношению к арифметике, отметив, что

познавательной способностью геометрии является воображение, занимающее промежуточное положение между умом и чувственностью (Прокл, 1994).

Широко обсуждаемым вопросом является соотношение математики и опыта. Как отмечает в предисловии к сборнику «Математика и опыт» (2003) А.Г. Барабашев, в эволюции математики сложились два конкурирующих подхода – математический априоризм и математический эмпиризм. И. Кант (1994, с. 39) полагал, что «настоящие математические положения всегда априорные, а не эмпирические суждения, потому что они обладают необходимостью, которая не может быть заимствована из опыта». Математика опирается на такие априорные формы чувственности, как пространство и время. «Иначе говоря, познающий субъект смотрит на мир как бы сквозь призму пространственного и временного расположения. Именно такая априорность и определяет возможность существования математических истин, а значит, и математики как науки» (Алексеев, Панин, 2015, с. 121). Ф. Энгельс (1961, с. 582) же отмечал, что «наша геометрия исходит из пространственных отношений, а наша арифметика и алгебра – из числовых величин, соответствующих нашим земным отношениям, т.е. соответствующих тем телесным величинам, которые механика называет массами, как они встречаются на Земле и приводятся в движение людьми». Он считал, что математика оперирует реальными величинами и критиковал математиков за отрыв от реальности. Приведём также мнение М. Клайна (1988, с. 10): «Математика открывает нам немало такого, о чём мы не знали и даже не подозревали, хотя речь идёт о явлениях весьма существенных, и нередко её выводы противоречат нашему чувственному восприятию. Математика – суть нашего знания о реальном мире. Она не только выходит за пределы чувственного восприятия, но и оказывает на него воздействие».

Обсуждая вопрос об априорности математического знания, С.Л. Катречко (2003, с. 545) указывает на то, «что если математика является разнородным(-ой), многокомпонентным(-ой) знанием (деятельностью), то вопрос о его априорности «расщепляется» на ряд вопросов об априорности его важнейших составляющих». Фактически всю математику можно разделить на геометрию (топологию) и арифметику (алгебру). Математик Г. Вейль (1989, с. 34) так описывал различие между ними: «В топологии начинают с *непрерывной связи* как самого изначального и лишь постепенно, в ходе спецификации, вводят те или иные *структурные моменты*; в алгебре же, наоборот, исходным пунктом математического мышления выступают *операции*, а *непрерывность* (или некий её алгебраический суррогат) вводится лишь на заключительном этапе спецификации. Два эти метода противоположны по направлению мысли, и поэтому неудивительно, что они плохо совместимы. То, что легче лёгкого достигается при одном

подходе, требует величайших усилий при другом». Геометрия и арифметика выступают как два противоположных способа исследования бесконечности. Геометрия сначала постулирует бесконечность как непрерывность, а затем разбивает её в своих конструкциях. Арифметика же строит дискретную «бесконечность» (множественность) из первоначально данной «единицы». Хотя арифметика и алгебра рассматриваются в тесном единстве, между ними также можно провести различие, если рассматривать арифметику как науку о числе, а алгебру как науку об операциях (алгоритмах). По мнению С.Л. Катречко (2003), арифметическая составляющая математики тяготеет к априорному метафизическому знанию, тогда как геометрическая в большей степени апостериорна. Следует также учитывать, что сами эти части математики неоднородны, и различные их составляющие характеризуются разным уровнем априорности (апостериорности).

Математика зависит от культурно-исторических условий, задающих специфику познавательной деятельности человека. М. Мак-Люэн (2003) указывает на неотделимость эволюции математики от развития книгопечатания. Опираясь на работу Т. Данцига «Числа – язык науки» (Данциг, 2008), он отмечает связь евклидовой организации чувственного опыта с фонетическим алфавитом. «Фонетический алфавит – это язык и одновременно мифическая форма западной цивилизации, и как таковой он осуществляет перевод всех наших чувств в визуальное, или «изобразительное», «замкнутое» пространство. Математикам более, чем кому-либо другому, понятен произвольный и условный характер этого континуального, гомогенного визуального пространства. Почему? Потому что число как язык науки является условной формой для обратного перевода евклидового пространства в аудиотактильное» (Мак-Люэн, 2003, с. 261). Как отмечает Н.А. Киселева (1967, с. 7), «вначале математика изучала реальный мир, отвлекаясь лишь от конкретной качественной природы объектов, которые подлежат счёту и измерению. Здесь математика была, грубо говоря, наукой о числах и фигурах, причём изучала их как постоянные, неизменные величины и отношения их рассматривала как постоянные, неизменные отношения постоянных величин. Далее, во второй период происходит отвлечение не только от конкретной качественной природы объектов, но уже и от конкретного количественного содержания чисел, что позволило оперировать с символами конкретных чисел ( $a$ ,  $b$ ,  $c \dots$ )».

Хотя в обыденном сознании принято противопоставлять математику гуманитарным наукам, детальный анализ показывает, что она не может быть однозначно отнесена к тому или иному типу научной культуры. Как пишет В.А. Успенский (2011, с. 17), «...безоговорочное отнесение математики к естественным наукам вызывает серьёзные возражения. Её родство с естественными науками, прежде всего – с физикой, очевидно, и

нередко приходится слышать, что математика является частью физики, поскольку описывает свойства внешнего, физического мира. Но с тем же успехом её можно считать частью психологии, поскольку изучаемые в ней абстракции суть явления нашего мышления, а значит, должны проходить по ведомству психологии. Не менее очевидна и логическая, приближающаяся к философской, природа математики». Примером наличия гуманитарной составляющей в математике является проблема доказательств. «Доказательство – это рассуждение, которое убеждает того, кто его воспринял, настолько, что он готов убеждать других с помощью этого же рассуждения. Так понимается доказательство всюду: и в истории, и в филологии, и в математике» (там же, с. 328). Понятие доказательства в целом принадлежит не математике, а психологии. Математика же заимствует его весьма произвольным образом и на основании некоторого толкования встраивает в систему математических рассуждений. Связанной с этим проблемой является восприятие математических доказательств с позиций традиционной (классической) и интуиционистской (конструктивистской) математики (Колмогоров, 1929). В тех случаях, когда формализация математики приводит к противоречиям с реальностью, адекватное решение может быть найдено лишь при выходе в более широкую предметную область. Поскольку математические утверждения базируются на определённых схемах мышления, вопрос выбора стратегии рассуждения решается относительно произвольно с использованием психологической аргументации.

А.Н. Уайтхед (1990, с. 75-76) отмечает, что «своеобразие математики состоит в том, что она устанавливает такие отношения между предметами, которые, если не прибегать к помощи человеческого разума, являются совершенно неочевидными. Таким образом, представления, развиваемые современными математиками, характеризуются значительной оторванностью от каких-либо понятий, выводимых из свидетельств органов чувств. Напротив, само восприятие испытывает стимулирующее и направляющее воздействие исходного математического знания». А.Н. Уайтхед полагает, что смысл математики состоит в том, что она освобождает человека от обращения к отдельному наглядному примеру и даёт возможность погрузиться в сферу полной и абсолютной абстракции. По мнению Л.М. Фридмана (2010, с. 173), «математика – это особый искусственный язык и аппарат оперирования этим языком, который широко используется не только в самой математике, но в той или иной мере во всех других науках». В основе мира математики лежит абстрактная модель особых свойств, главным образом количественных и пространственных форм окружающего мира, а также особые созданные искусственно понятия, не имеющие аналогов во внешнем мире. Л.М. Фридман (2009, с. 188), опираясь на высказывания ряда известных математиков, определяет математическое

мышление как «предельно абстрактное, теоретическое мышление, объекты которого лишены всякой вещественности и могут интерпретироваться самым произвольным образом, лишь бы при этом сохранялись заданные между ними отношения». По мнению В.М. Туркиной (2007, с. 6), «специфическими особенностями математики являются высокий уровень абстракции математических понятий, обуславливающий свободу создания математических объектов, наличие собственного языка». Г. Биркгофф (2008) выделяет три основные стороны арифметики: умение оперировать числами, логическое рассуждение и практическую полезность. Уже в раннем возрасте дети резко различаются по своему арифметическому мышлению не только быстротой, но и тем, какое относительное значение они придают каждому из этих компонентов.

Некоторые исследователи считают, что не существует особого математического мышления. Например, по мнению Л.С. Трегуба (1973), методы познания, лежащие в основе математики, являются общими методами человеческого познания. Подобную точку зрения фактически разделяют Дж. Лакофф и Р. Нуньес (2012), отмечающие, что математика структурирована и лимитирована свойствами человеческого мозга и психики. Авторы считают, что нет какой-то особой «высшей» математики, любая математика – это человеческая математика, опосредованная особенностями наших когнитивных структур. Большинство когнитивных механизмов, не являющихся специфически математическими, успешно используются для понимания математических идей. К их числу относятся когнитивные механизмы, стоящие за нашими повседневными представлениями. Авторы придают особое значение концептуальной метафоре, рассматривая её как когнитивный механизм, который позволяет нам рассуждать об одних вещах, как если бы они являлись другими. Концептуальная метафора обогащает математику, но также приводит к путанице и парадоксам, если метафоры понимаются буквально (Lakoff, Núñez, 2000).

Г. Гарднер (2007), опираясь на работы Ж. Пиаже (2003), пришёл к выводу, что логико-математический интеллект не зависит от слухоречевой сферы. Его истоки относятся к взаимодействию с миром физических объектов. Основой всех логико-математических форм мышления является деятельность с реальными предметами. Схожие идеи высказывал Л.С. Выготский, ссылавшийся в своих рассуждениях на положения Ф. Энгельса (1961), представленные в работе «Диалектика природы». Он (Выготский, 1982а, с. 312) отмечал, что «даже фиктивные, не естественнонаучные, а математические понятия в конечном счёте содержат в себе некоторый отзвук, отражение реальных отношений между вещами и реальных процессов, хотя они возникли не из опытного, реального знания, а чисто априорным, дедуктивным путём логических умозрительных операций».

Заслуживают внимания личностные характеристики профессиональных математиков. Д. Рюэль (2012, с. 87), описывая особенности своих знаменитых коллег, указывает на то, что многие из них «живут, в какой-то степени, в отдельной вселенной, вследствие чего они не замечают некоторых относительных проблем "реальной жизни"». Особенность математиков состоит в том, что в профессиональной ситуации от них требуется реакция, отличная от привычной для большинства людей. Между тем в их мышлении и социальном поведении отсутствует гибкость и способность приспосабливаться к общепринятым нормам. Абстрактная деятельность математиков в конечном итоге может повлиять на их здоровье и личность. Автор приводит мнение И. Джеймса (James, 2003), исследовавшего связь математических способностей с аутизмом и показавшего, что аутисты, особенно если они обладают высоким уровнем интеллекта, способны значительно превзойти обычных людей в математической деятельности.

Знаменитые математики сами задавались вопросом о сущности математических способностей и дали возможность взглянуть на эту проблему изнутри. А. Пуанкаре (1909), ссылаясь на свой опыт, указывал на то, что математическое творчество связано с внезапным появлением в сознании готовых идей, причём их справедливость усматривается непосредственно. Он отмечал, что у него это всегда являлось результатом предшествующей напряжённой осознанной умственной деятельности и непосредственным следствием последующей долгой бессознательной работы, когда сознание было занято совершенно другим. Кроме того, математикам свойственно своеобразное эстетическое чувство – чувство математической красоты, изящества и гармонии. Ж. Адамар (1970) также указывал на большую значимость проявлений бессознательного в математической деятельности. В подсознательной сфере происходит комбинирование многих идей. Только полезные комбинации осознаются, остальные остаются неизвестными субъекту. Озарение всегда наступает после отдыха, следующего за напряжённой сознательной работой. А.Н. Колмогоров (1988) отмечал, что большую роль при работе почти во всех разделах математики, даже самых отвлечённых, играет геометрическое воображение, или «геометрическая интуиция». Он утверждал, что математическая одарённость предполагает высокий уровень развития геометрического воображения и логического рассуждения. Помимо этого, А.Н. Колмогоров указывал на то, что многие математики увлекаются музыкой. В настоящее время показано, что музыкальная и математическая одарённость часто совпадает у одних и тех же людей (Кирнарская, 2004).

Опираясь на профессиограмму математика (Романова, 2011), можно выделить следующие качества, обеспечивающие успешность выполнения математической

деятельности. Математик должен обладать математическими и аналитическими способностями, логическим мышлением, концентрацией и устойчивостью внимания, хорошим развитием кратковременной памяти, памяти на числа и символы, пространственным воображением. Мышление математика характеризуется возможностью согласовывать цели и решения различных задач одновременно, стремлением к развитию и инновациям. Немаловажную роль играют эрудированность, любознательность, методичность, склонность к анализу и детализации информации, терпеливость, «педантизм» в работе с цифрами, склонность к научно-исследовательской работе. Считается, что эффективной профессиональной деятельности математика мешают гуманитарный склад ума, рассеянность, непоследовательность в действиях, неумение анализировать информацию и мечтательность.

## **1.2. Психологическая организация математических способностей**

При изучении математических способностей возникает несколько вопросов, ответы на которые определяют методологию каждого конкретного исследования. Во-первых, необходимо выяснить, что такое математика и математическая деятельность. В предыдущем параграфе мы обсуждали многообразие взглядов на эту проблему. Во-вторых, нужно решить, что понимается под способностями в общем и математическими способностями в частности. Если признаётся неоднородность математических способностей, то следует определиться с тем, какие компоненты математических способностей будут исследованы.

В психологии не существует общепринятого определения способностей. В целом способности можно классифицировать по двум основаниям: «1) по видам психических *функциональных систем* (сенсомоторные, перцептивные, аттенционные, мнемические, имажитивные, мыслительные коммуникативные); 2) по основным видам деятельности (математические, музыкальные, научные, литературные, художественные)» (Большой психологический словарь, 2009, с. 637). Выделяют следующие показатели способностей: «темпы продвижения в овладении деятельностью, широта переноса формирующихся психических качеств; соотношение нервно-психических затрат и конечного результата деятельности» (Практикум по общей психологии..., 1990, с. 262). Как отмечает И.И. Юматова с соавторами (Психодиагностика..., 2017, с. 221), «...диагностические признаки способностей могут быть измерены с помощью следующих методов: метод анализа продуктов деятельности, метод тестов, метод естественного и лабораторного эксперимента, метод экспертных оценок, метод наблюдения».

В житейском понимании способности часто смешивают с такими категориями, как умения и навыки. Они действительно взаимосвязаны и взаимозависимы. С.Л. Рубинштейн (2002, с. 705) писал по этому поводу следующее: «При развитии способностей в процессе деятельности существенную роль играет своеобразная диалектика между способностями и умениями. Способности и умения, совершенно очевидно, не тождественны, но они всё же теснейшим образом друг с другом связаны; притом связь эта взаимная. С одной стороны, освоение умений, знаний и т.д. предполагает наличие известных способностей, а с другой – само формирование способности к определённой деятельности предполагает освоение связанных с ней умений, знаний и т.д. Эти умения, знания и т.д. остаются чем-то совершенно внешним для способностей человека, лишь пока они не освоены. По мере того как они осваиваются, т.е. превращаются в личное достояние, они перестают быть только знаниями, умениями, полученными извне, а способствуют развитию способностей». С.Л. Рубинштейн (2003, с. 258) так определяет способности: «Способности – это закреплённая в индивиде система обобщенных психических деятельностей... В отличие от навыков, способности – результаты закрепления не способов действия, а психических процессов ("деятельностей"), посредством которых действия и деятельности регулируются».

Связь и взаимозависимость способностей с умениями и навыками не исключает возможности дифференцировать данные категории. Как указывает В.С. Кузин (1974, с. 258), «задатки являются той основой, без которой немыслимо развитие способностей. Но способности могут формироваться только при наличии благоприятных условий». А.В. Петровский писал, что «способности – это такие психологические особенности человека, от которых зависит успешность приобретения знаний, умений, навыков, но которые сами к наличию этих знаний, навыков и умений не сводятся» (Введение в психологию, 1996, с. 468). При этом он отмечал: «Психология, отрицая тождество способностей и существенно важных компонентов деятельности – знаний, навыков и умений, подчёркивает их единство. Способности обнаруживаются только в деятельности, которая не может осуществляться без наличия этих способностей. Нельзя говорить о способностях человека к рисунку, если его не пытались обучать рисовать, если он не приобрёл никаких навыков, необходимых для изобразительной деятельности. Только в процессе специального обучения рисунку и живописи может выясниться, есть ли у обучающегося способности. Это обнаружится в том, насколько быстро и легко он усваивает приёмы работы, цветовые отношения, научается видеть прекрасное в окружающем мире» (там же, с. 469). В.В. Нуркова и Н.Б. Березанская (2013, с. 586) замечают, что «формирование способностей происходит на основе *задатков*, которые выступают как *врождённые предпосылки*,

неспецифичные по отношению к конкретным способностям. Неспецифичность задатков означает, что один и тот же задаток (например, хорошее развитие зрительных зон коры) может в зависимости от социальных и индивидуальных условий развития ребёнка реализоваться в совершенно разных способностях... Заметим, что при неблагоприятных условиях имеющиеся задатки вообще могут остаться только потенциями, не воплощёнными в развитые способности».

К.К. Платонов (1984, с. 140) определял способности как «качество личности, определяющее успешность овладения определённой деятельностью и совершенствования в ней. Способности – подструктура личности, наложенная на её остальные основные подструктуры». По мнению Ю.Б. Гиппенрейтер (1996, с. 246), «способности определяются как индивидуально-психологические особенности человека, которые выражают его готовность к овладению определёнными видами деятельности и к их успешному осуществлению». О.Г. Ридецкая (2010) считает, что способность по своему существу понятие динамическое, существующее только в движении и развитии. По её мнению, каждая способность приобретает качественно иной характер в зависимости от наличия и степени развития других способностей. С.Н. Костромина (2012, с. 86-87) отмечает, что «в полной мере способностями можно считать только такие свойства, которые не исчезают при переходе к новому возрастному периоду». В.Д. Шадриков (1996) указывает на то, что мы нередко сталкиваемся с выражениями типа «алмаз способен резать стекло», «атом способен делиться» и т.д. Понятие «способности» относят не только к человеку, но и к любой вещи. Способности как свойства объектов определяются структурой этих объектов и свойствами её элементов. В отношении же человека правильнее определять способности «как свойства функциональных систем, реализующих отдельные психические функции, которые имеют индивидуальную меру выраженности, проявляющуюся в успешности и качественном своеобразии освоения и реализации деятельности» (там же, с. 177). Так можно легко развести способности и задатки. Если способности являются свойствами функциональных систем, то задатки – свойствами компонентов этих систем.

В отечественной психологии часто используют определение, выработанное Б.М. Тепловым (1961). Во-первых, под способностями понимаются индивидуально-психологические особенности, отличающие одного человека от другого. Во-вторых, способностями называют лишь те индивидуальные особенности, которые имеют отношение к успешности выполнения какой-либо деятельности или многих деятельностей. В-третьих, понятие «способность» не сводится к тем знаниям, умениям и навыкам, которые уже выработаны у данного человека, а отражает его потенциальную

возможность их приобрести. Выделяют общие и специальные способности, первые из которых проявляются в большинстве видов деятельности, а вторые ограничены лишь какой-то определённой деятельностью. Под общими способностями подразумеваются прежде всего интеллектуальные – способность к выявлению закономерностей, интеллект. Общие способности обеспечивают овладение разными видами знаний и умений, которые человек реализует в различных видах деятельности. Специальные способности обуславливают лёгкость и успешность овладения определёнными специальными видами деятельности (Шанина, 2010). По мнению А.Г. Ковалева, «кроме этих двух видов способностей, выделяется и третья группа – способности к практической деятельности. Сюда относятся конструктивно-технические, организаторские, педагогические способности. Основанием для такой классификации способностей служит различие видов деятельности (наука, искусство, практика), каждая из которых предъявляет специфические требования к человеку» (Общая психология..., 1973, с. 334).

В.А. Крутецкий (1968, 1998) предложил другой критерий, который кажется нам более подходящим. За основу разведения этих понятий было взято отношение рассматриваемого качества к человеку или к действию. Под способностями понимаются особенности человека, которые благоприятствуют быстрому и лёгкому овладению определённой деятельностью, овладению соответствующими навыками и умениями. Под умениями и навыками понимаются конкретные акты деятельности, которые осуществляются человеком на сравнительно высоком уровне. «Способности – это не навыки и умения, а те индивидуально-психологические особенности, от которых зависит лёгкое и успешное овладение умениями и навыками в соответствующей деятельности» (Крутецкий, 1998, с. 80). В.А. Крутецкий предлагает называть полный комплекс свойств личности, предрасполагающих к успешному выполнению определённой деятельности, «пригодностью или готовностью к деятельности» (там же, с. 83), а к способностям относить только особенности сенсорной, умственной и моторной сфер. Получается, что интерес (склонность) к определённой деятельности не обязательно должен совпадать со способностями. Субъект может хотеть заниматься чем-либо, но не иметь соответствующего уровня развития сенсорной, умственной или моторной сферы, или же, обладая требуемыми способностями, не иметь никакого желания заниматься соответствующей деятельностью. Человек оказывается пригоден к деятельности лишь при одновременном наличии способностей и общих психологических условий, необходимых для успешного осуществления деятельности. В.А. Крутецкий приводит следующую схему, поясняющую его понимание данной проблемы (Рисунок 1).



Рисунок 1. Схема структуры готовности (пригодности) к деятельности  
(по В.А. Крутецкому, 1998, с. 84)

Несмотря на формальное разделение способностей и интереса к деятельности, В.А. Крутецкий (1980, с. 244) всё же отмечает, что «интересы и склонности к определённой деятельности развиваются обычно в единстве с развитием способностей к ней. Например, интерес и склонность ученика к математике заставляют его усиленно заниматься этим предметом, что в свою очередь развивает математические способности. Развивающиеся математические способности обеспечивают определённые достижения, успехи в области математики, которые вызывают у ученика радостное чувство удовлетворения. Это чувство вызывает ещё более глубокий интерес к предмету, склонность ещё больше заниматься им».

Разделение в процессе диагностики собственно способностей и общих психологических условий, обеспечивающих протекание математической деятельности, является серьёзной проблемой в исследовании математических способностей. Тесты, которые предназначены для диагностики какого-либо одного компонента математических способностей, обычно выигрывают в плане чистоты проводимых измерений. Но при этом они не вполне успешно могут предсказывать готовность к математической деятельности, т.к. вклад одного измеряемого компонента в эффективность её осуществления может быть достаточно малым. Другие же тесты, претендующие на измерение математических способностей в целом, не позволяют избежать влияния общих психологических условий, хотя и могут обладать высокой валидностью по отношению к успехам в математике. Между тем мы полагаем, что отделение особенностей сенсорной, умственной или моторной сфер от других характеристик личности является крайне важным для нейропсихологии индивидуальных различий. Такая позиция позволяет не смешивать

разные факторы эффективности математической деятельности и выявлять более чёткие и однозначно интерпретируемые закономерности, связывающие нейропсихологические характеристики с операциональными компонентами математической деятельности.

В.А. Крутецкий подчёркивает, что следует различать творческие математические способности, характерные для профессиональных математиков, и способности к усвоению математики. Это мнение разделяют и другие исследователи (Ридецкая, 2010). Под способностями к изучению математики В.А. Крутецкий (1968, с. 91) понимал «индивидуально-психологические особенности (прежде всего особенности умственной деятельности), отвечающие требованиям учебной математической деятельности и обуславливающие при прочих равных условиях успешность творческого овладения математикой как учебным предметом, в частности относительно быстрое, лёгкое и глубокое овладение знаниями, умениями и навыками в области математики». Способности к усвоению математических знаний, к их репродуцированию и самостоятельному применению наиболее отчётливо проявляются при изучении математических способностей у школьников.

При обсуждении математических способностей В.А. Крутецкий (1968, 1998) выделял три основные проблемы. Первой проблемой является специфичность математических способностей. Являются математические способности производным от общих интеллектуальных способностей и желания заниматься математикой или должны рассматриваться как специфическое образование, отличное от категории общего интеллекта? Вторая проблема – это структурность математических способностей. Является ли математическая одарённость единым и неразложимым свойством или имеет сложную структуру, включая в себя различные компоненты? Третьей проблемой является проблема типологических различий в математических способностях. Существуют ли различные типы математической одарённости или различия имеют место только в интересах и склонностях к разным разделам математики? Анализ многочисленной литературы позволяет сделать вывод о том, что ответы на эти вопросы во многом зависят от теоретических позиций и научных установок исследователей, занимающихся математическими способностями; единой позиции на этот счёт нет.

Проанализировав работы по данной тематике, опубликованные вплоть до 1966 года (первое издание «Психологии математических способностей» вышло в 1968 году), В.А. Крутецкий описал следующий спектр возможных решений поставленных проблем. В зарубежной литературе встречаются авторитетные исследования, как подтверждающие, так и опровергающие наличие специфических математических способностей. Некоторые авторы приходят к выводу о существовании специфических способностей к арифметике,

алгебре и геометрии, другие считают, что существует общий фактор математических способностей, третьи отрицают существование группового математического фактора, предполагая, что математические способности являются производными от других умственных способностей. Анализ многочисленных работ позволяет говорить о том, что математические способности действительно связаны с интеллектом, но также имеют свою собственную специфичность. Арифметические, алгебраические и геометрические способности различаются между собой, но при этом имеют много общего, что позволяет в большинстве случаев выделять групповой математический фактор. В пользу относительной самостоятельности арифметических, алгебраических и геометрических способностей свидетельствуют результаты целого ряда исследований. Например, в работе В. Брауна (Brown, 1910) была вычислена корреляция между успешностью в различных отраслях математики, которая составила 0,79 – между арифметикой и алгеброй, 0,66 – между геометрией и алгеброй и 0,58 – между арифметикой и геометрией. В исследовании Л. Мензенкампа (Mensenkamp, 1921) коэффициент корреляции между алгебраическими и геометрическими способностями составил 0,54, тогда как между алгебраическими и вербальными способностями – 0,57 и между геометрическими и вербальными способностями – 0,59. Автор особо отмечает, что корреляция между показателями тестов на алгебраические и геометрические способности не превышает корреляции между каждой из них и вербальными способностями. Ещё в одном исследовании (Oldham, 1937, 1938) показано, что у школьников в возрасте 9-15 лет корреляция между алгебраическими и арифметическими способностями составляет 0,6, между арифметическими и геометрическими – 0,47, между алгебраическими и геометрическими – 0,59. При этом корреляции арифметических, алгебраических и геометрических способностей с интеллектом заметно ниже – 0,4, 0,27 и 0,31 соответственно.

Если же рассматривать математические способности через мыслительные способности, которые задействуются при решении математических задач, то на основе множества факторных исследований можно выделить 5 факторов, которые связаны с математическими способностями:

1) Общий (генеральный) фактор g. Отмечаются высокие корреляции математических тестов с тестами на общий интеллект. Однако, что касается вычислительной способности, то она с общим интеллектом практически не связана.

2) Вычислительный фактор N. По этому фактору наибольшие веса имеют арифметические тесты. Считается, что этот фактор имеет значение как для скорости вычислений, так и для решения арифметических задач.

3) Пространственный фактор S (зрительный Vi). Есть предположения о связи visual-тестов и геометрических тестов. Однако в большинстве случаев находимые связи крайне невысоки.

4) Вербальные факторы V и W. По некоторым данным, математические тесты коррелируют с вербальными. В частности, найдена высокая корреляция вербальных тестов с тестами на арифметическое рассуждение, с алгебраическими и геометрическими тестами.

5) Фактор R (рассуждение). Этот фактор расчленяется рядом исследователей на несколько факторов (в частности, дедуктивный и индуктивный). Большинство авторов получили по математическим тестам высокие веса по индуктивному и дедуктивному факторам.

Распространённым в зарубежной психологии является деление на дискурсивный (развёрнутый во всех своих звеньях) и интуитивный (непосредственно «схватывающий») типы мыслительных процессов. В исследованиях гештальт-психологов индивидуальные особенности математического мышления рассматриваются через способность к переструктурированию проблемной ситуации. Ж. Пиаже (1960) и его последователи исследуют формирование математических способностей через призму операторной концепции мышления. Отмечается соответствие математических структур и структур мышления.

Наряду с исчерпывающим обзором литературы В.А. Крутецкий (1968, 1998) также представил результаты своих исследований, проведённых с 1955 по 1966 гг. На основании накопленных литературных данных, высказываний учителей математики, методистов и учёных-математиков, а также результатов серии экспериментальных исследований он выделил общую структуру математических способностей, состоящую из следующих компонентов:

1) Получение математической информации (способность к формализованному восприятию математического материала, схватыванию формальной структуры задачи).

2) Переработка математической информации:

- Способность к логическому мышлению в сфере количественных и пространственных отношений, числовой и знаковой символики. Способность мыслить математическими символами.

- Способность к быстрому и широкому обобщению математических объектов, отношений и действий.

- Способность к свёртыванию процесса математического рассуждения и системы соответствующих действий. Способность мыслить свёрнутыми структурами.

- Гибкость мыслительных процессов в математической деятельности.
- Стремление к ясности, простоте, экономности и рациональности решений.
- Способность к быстрой и свободной перестройке направленности мыслительного процесса, переключению с прямого на обратный ход мысли (обратимость мыслительного процесса при математическом рассуждении).

3) Хранение математической информации (математическая память – обобщённая память на математические отношения, типовые характеристики, схемы рассуждений и доказательств, методы решения задач и принципы подхода к ним).

4) Общий синтетический компонент (математическая направленность ума).

Выделенные компоненты образуют особую систему, находясь в отношениях взаимовлияния. Кроме этого, в структуру математических способностей могут входить факультативные компоненты, наличие которых определяет тип математического склада ума:

- 1) Быстрота мыслительных процессов как временная характеристика.
- 2) Вычислительные способности (способности к быстрым и точным вычислениям, часто в уме).
- 3) Память на цифры, числа, формулы.
- 4) Способность к пространственным представлениям.
- 5) Способность наглядно представить абстрактные математические отношения и зависимости.

В.А. Крутецкий отмечает, что приведённая им схема структуры математических способностей подразумевает математические способности школьника. Возможность её отнесения к вполне сложившимся одарённым математикам требует дополнительного изучения. Мы в полной мере разделяем эту позицию. Поскольку деятельность профессионального математика отличается от деятельности человека, изучающего математику, правомерно говорить как минимум о двух типах математических способностей. Если первый тип способностей обеспечивает деятельность по изучению математики, то второй представляет собой совокупность индивидуальных особенностей, необходимых для профессиональной математической деятельности. Таким образом, в исследовании В.А. Крутецкого мы имеем дело с первым типом математических способностей, обеспечивающим протекание деятельности по изучению математики. Что касается профессиональных математиков, то у них на первый план выступают особенности личности, способствующие эффективному осуществлению профессиональной деятельности.

### 1.3. Методики диагностики математических способностей

Приведём примеры известных нам тестов, которые используются для диагностики математических способностей в психологических и педагогических исследованиях. Некоторые из них представляют собой самостоятельные методики, другие – входят в качестве отдельных шкал в комплексные тесты интеллекта.

Часто для диагностики математических способностей используют задания на числовые ряды (например, см. Психологическая диагностика..., 2008, с. 49-51; Энциклопедия психодиагностики..., 2009, с. 60), которые затрагивают логический аспект математического мышления. Если испытуемый затрудняется при решении таких заданий, это может обозначать, что он плохо анализирует цифровой материал, не видит скрытых закономерностей, поэтому не может ими воспользоваться.

В тесте структуры интеллекта Р. Амтхауэра (Amthauer, 1953; Ясюкова, 2007; Туник, 2009) числовые ряды используются для диагностики формально-логического мышления, но также имеется шкала математической интуиции, задания которой представляют собой простые арифметические задачи. По мнению Е.Е. Туник (2009), арифметические задачи позволяют оценить уровень развития практического математического мышления, а ряды чисел – теоретического математического мышления, индуктивного мышления, способности оперировать числами и находить закономерности. В нашем исследовании (Хохлов, Мячев, 2012), проведённом на учащихся 10-х классов МОУ СОШ №24 (г. Комсомольск-на-Амуре), показано, что шкала математической интуиции теста структуры интеллекта Р. Амтхауэра в адаптации Л.А. Ясюковой (2007) коррелирует с успеваемостью по алгебре ( $r = 0,463$ ), геометрии ( $r = 0,408$ ) и информатике ( $r = 0,484$ ). Полученные результаты позволяют предполагать, что данная шкала действительно связана с эффективностью математической деятельности, но не является специфичной по отношению к какой-либо математической дисциплине. Кроме того, в другом нашем исследовании (Хохлов, 2014б), проведённом на учащихся 10 классов ГБОУ ЦО №1811 «Измайлово» (г. Москва) обнаружено, что формально-логическое мышление и математическая интуиция связаны между собой ( $r = 0,481$ ). В исследовании (Хохлов, 2014в), проведённом на студентках московских вузов, обучавшихся на нематематических специальностях, выявлено, что успеваемость по алгебре (по оценке в аттестате) коррелирует с математической интуицией ( $r = 0,399$ ), формально-логическим мышлением ( $r = 0,369$ ), пространственным мышлением ( $r = 0,283$ ) и общим уровнем интеллекта ( $r = 0,382$ ). Успеваемость по геометрии (по оценке в аттестате) коррелирует с математической интуицией ( $r = 0,475$ ), формально-логическим мышлением ( $r = 0,47$ ), оперативной логической памятью ( $r = 0,434$ ) и общим уровнем интеллекта ( $r = 0,474$ ). Корреляция

между математической интуицией и формально-логическим мышлением составляет 0,545. Таким образом, математические субтесты теста Р. Амтхауэра предназначены для исследования функций интеллекта и не обладают достаточной специфичностью для полноценного исследования математических способностей. Заметим, что правомерность использования аналогичных заданий для диагностики математических способностей во многом зависит от того, изучаются ли математические способности как один из компонентов интеллектуальных способностей, или как самостоятельные способности, не сводимые к интеллекту.

В тесте Д. Векслера (Wechsler, 1955; Панасюк, 1973; Филимоненко, Тимофеев, 2004) субтесты «Арифметика» и «Запоминание цифр» входят в вербальную часть и предназначены для диагностики лёгкости оперирования числовым материалом и памяти на числа соответственно. Субтест «Арифметика» включает в себя задачи из курса арифметики для начальной школы, которые решаются устно. Предполагается, что данный субтест также измеряет произвольную концентрацию внимания. Субтест «Запоминание цифр» содержит ряды цифр, которые необходимо прослушать и воспроизвести в прямом и обратном порядке. Этот субтест концептуально не направлен на измерение математических способностей, а скорее предназначен для диагностики объёма кратковременной памяти и уровня активного внимания. В невербальной части теста присутствует субтест «Шифровка» (или «Цифровые символы»), который в той или иной мере отражает способность мыслить числами. При этом его диагностическое значение весьма комплексно – эффективность шифровки связана со свойствами внимания, восприятия, зрительно-моторной координации.

В универсальном интеллектуальном тесте (УИТ СПЧ-М), разработанном И.М. Дашковым, Н.А. Курганским, Л.К. Федоровой и Н.А. Батуриным, математические способности диагностируются с помощью шкал «Арифметические задачи» и «Числовые ряды». Результаты субтеста «Арифметические задачи» свидетельствуют о способности концентрации активного внимания, развитии практического мышления. Субтест «Числовые ряды» направлен на диагностику индуктивного мышления, умения оперировать числами, а также способности улавливать ритм (Батурин, Курганский, 2003).

Математические тесты часто входят в комплексные методики оценки готовности к определённой профессиональной деятельности. Например, в книге Д. Баррета и Д. Вильямса (2006) имеется тест на способность анализировать цифры, предполагающий поиск принципа объединений чисел в рядах. Авторы пишут, что способности к анализу цифр «в чём-то похожи на математические, но это не совсем то же самое. Это – способность "думать" цифрами, а не способность ими манипулировать. Существует

немного видов карьер, где необходимы только лишь данные способности, чаще всего они должны ещё сочетаться с другими видами способностей. Профессии, неразрывно связанные со способностью к анализу цифр, – это аудитор, кассир или банковский кассир. Ещё с данной способностью связаны многие другие виды финансовой деятельности». В разработанных с нашим участием учебных пособиях «Моя будущая профессия. Тесты по профессиональной ориентации школьников» для 8 и 9 классов (Кузнецов и др., 2017; Серебряков и др., 2017) также используются математические тесты. В тесте для учащихся 8 класса, направленном на определение способностей к математике и информационно-коммуникационным технологиям, используются задания на математические и формально-логические способности. Эти способности «выражаются в развитом навыке оперировать числами, использовать индукцию и дедукцию для умозаключений, выполнять в уме формальные операции с понятиями и другими абстрактными объектами, совершать логические преобразования самих операций. Не менее важными являются умения решать задачи, опираясь на правила логики, и распознавать абстрактные модели и принципы. Математики и программисты, инженеры и архитекторы, экономисты и аналитики – все они используют данные способности в своей работе» (Кузнецов и др., 2017, с. 12). Тест для учащихся 9 класса, предназначенный для диагностики способностей к информационно-технологическому и математическому профилю обучения, также включает в себя задания на формально-логические и математические способности. Отмечается, что «способности к данному профилю предполагают возможность оперировать абстрактными понятиями, совершать их преобразования. Не менее важными являются умения решать задачи, опираясь на правила логики, формулировать гипотезы, мысленно рассуждать, доказывая их» (Серебряков и др., 2017, с. 9). Эти тесты имеют широкую область валидности, измеряя не только математические, но и формально-логические способности, требующиеся для овладения определёнными профессиями.

Нередко для диагностики математических способностей используют задачи А.Г. Гайштута (например, см. тест математических аналогий В.Н. Дружинина, 2006), однако сам автор называл их логическими, а решение этих задач требует применения различных приёмов умственной деятельности, таких как анализ, синтез, аналогия, обобщение, конкретизация и др. (Гайштут, 1985). Очевидно, что измеряемые с помощью таких заданий способности являются более широкими, чем собственно математические.

Хорошо известный среди психологов тест А. Лачинса измеряет гибкость-ригидность мыслительных процессов, при этом в качестве стимульного материала в нём используются математические задачи (Диагностика познавательных способностей..., 2009, с. 410-413). На наш взгляд, возможность решать задачи более рациональным способом,

преодолевая влияние прошлого опыта, действительно является одним из факторов эффективности математической деятельности, но когнитивная гибкость затрагивает всю познавательную сферу и не специфична по отношению к математическим способностям.

Наиболее известными зарубежными тестами являются Тест ранних математических способностей (Ginsburg H.P., Baroody A.J. Test of Early Mathematics Ability – ТЕМА) для детей в возрасте от 3-9 лет (время тестирования – 40 минут), Тест всесторонних математических способностей (Hresko W.P., Schlieve P.L., Herron S.R., Swain C., Sherbenou R.J. Comprehensive Mathematical Abilities Test – СМАТ) для тестируемых в возрасте 7-19 лет (время тестирования – от 30 минут до 2 часов) и Тест математических способностей (Brown V.L., Cronin M.E., Bryant D. Test of Mathematical Abilities – ТОМА) для тестируемых в возрасте 8-19 лет (время тестирования – от 60 до 90 минут). В СМАТ входят 6 основных субтестов – дополнение, вычитание, умножение, деление, решение задач, диаграммы (таблицы, графики) и 6 дополнительных субтестов – алгебра, геометрия, рациональные числа, время, деньги, измерение. ТЕМА позволяет измерять навыки пересчёта (нумерации), способность к сравнению чисел, числовую грамотность, владение числовыми фактами, вычислительные навыки и понимание математических понятий. ТОМА содержит четыре основных субтеста (математические символы и понятия, вычисления, математика в повседневной жизни, текстовые задачи) и один дополнительный (отношение к математике). Несмотря на широкую распространённость в зарубежных работах, все эти тесты объединяет один существенный недостаток. Заключается он в крайне разноплановом выделении компонентов математических способностей, часть из которых скорее относятся к знаниям, умениям и навыкам. Для педагогических измерений эти тесты применимы, но для психологических исследований им недостаёт теоретико-методологической обоснованности выделяемых компонентов.

Наиболее проработанной методикой для диагностики структуры математических способностей является комплексный тест В.А. Крутецкого (1968, 1998). Он включает в себя 26 серий, содержащих 79 тестов (в том числе 22 арифметических, 17 алгебраических, 25 геометрических и 15 прочих). Тест позволяет диагностировать 10 компонентов структуры математических способностей, а именно, способность к восприятию задачи, способность к обобщению, логичность рассуждения, свёрнутость процесса рассуждения, гибкость мышления, стремление к изяществу решения, обратимость мыслительного процесса, математическую память, типы математических способностей, специфику компонентов математических способностей. Исследования В.А. Крутецкого (при участии С.И. Шапиро и И.В. Дубровиной) с использованием данного теста проводились с 1955 по 1966 гг. с привлечением 192 учащихся из 11 школ г. Москвы и г. Курска и в конечном

итоге позволили выявить и уточнить структуру математических способностей, подтверждаемую результатами факторного анализа. Проведение данного теста является крайне сложным как для исследователя, так и для испытуемого. Требуется несколько индивидуальных встреч, в процессе выполнения заданий оцениваются не только ответы, но и способ действия. В связи с высокой трудоёмкостью для проведения массового тестирования данный тест не подходит, а его компьютеризация до сих пор остаётся весьма сложной исследовательской задачей. Известна также методика Е.В. Емельяновой (2009), составленная на основе отдельных серий математических задач, использованных В.А. Крутецким, однако она включает в себя только 5 серий из 26 оригинальных.

Таким образом, в настоящее время имеется множество теоретических подходов к изучению психологической сущности математики и выделению структуры математических способностей. В рамках каждого подхода возможны различные варианты операционализации предлагаемых теоретических конструктов в психодиагностических методиках. Выбор того или иного теста определяется прежде всего интересом исследователя и его желанием изучать определённую сторону математических способностей в рамках принимаемой им теоретической позиции.

Материалы данной главы частично представлены в нашей работе (Хохлов, 2015е).

## Глава 2

### Роль межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия в обеспечении математических способностей

#### 2.1. Развитие научных представлений о функциональной неравнозначности полушарий головного мозга

Самые ранние письменные упоминания о головном мозге были обнаружены в египетских иероглифических надписях, датируемых XVI-XVII вв. до н.э. Американский археолог и историк Дж.Г. Брестед отмечал, что в древних египетских рукописях головной мозг упоминается восемь раз. В «Хирургическом папирусе Эдвина Смита» (Breasted, 1930), найденном в Луксоре в 1862 году, описываются симптомы, диагноз и прогноз состояния пациентов с ранениями головы. Древние египтяне знали, что повреждения одной половины мозга приводят к нарушению функций противоположной стороны тела. Таким образом, первые клинические подтверждения контралатеральности были получены более 3500 лет назад (Солсо, 2012).

В VI веке до н.э. античный врач и философ Алкмеон Кротонский выдвинул положение о локализации мыслей в головном мозгу. В III веке до н.э. в Александрии врачами Герофилом и Эразистратом были описаны различные части головного мозга. Впервые богатство извилин мозговых полушарий у человека было связано с его умственным превосходством над животными. Во II веке до н.э. римский врач Клавдий Гален объединил и дополнил анатомо-физиологические сведения периода эллинизма, написав сводное сочинение по медицине, анатомии и физиологии, ставшее настольной книгой врачей вплоть до XVII века (Ждан, 2005). В V-IV вв. до н.э. Гиппократ отмечал, что органом мышления и ощущения является мозг. Он одним из первых указал на то, что «мозг человека двойственен, как и у всех животных» (Chadwick, Mann, 1950, p. 182). Во многом это стало возможным благодаря стремлению античной науки преодолеть антропоморфизм и заняться поиском естественной основы природы.

В 1981 году Г.-Я. Локхорст (Lokhorst, 1996) случайно натолкнулся на одно весьма древнее представление об асимметрии человеческого организма. Оно сохранилось в работе, написанной примерно в 1100 году, но восходит, вероятно, к античным временам. Ещё один текст, обнаруженный Г.-Я. Локхорстом, датируется 1410 годом. В нём говорится, о том, что правая сторона тела имеет преимущество за счёт тепла и сухой «жёлтой желчи», которую вырабатывает печень, а левая – за счёт холодной и сухой «чёрной желчи», вырабатываемой селезёнкой. Однако в этих источниках не было указаний на функционирование мозга. Античное представление о мозговой асимметрии

описано в анонимном медицинском трактате, который сейчас именуется «De Semine», датируемым XI-XII вв. Данное произведение находится в манускрипте под номерами 1342-1350 Королевской библиотеки в Брюсселе (folio 48r-52v). Авторство трактата, равно как и точное время его написания, неизвестно. Среди возможных авторов трактата указывают Октавия Горациануса (IV в.), Теодора Присциануса (V в.), Виндициануса (IV в.), Диокла Каристского (IV в. до н.э.). Трактат многократно переписывался с различными поправками (поэтому не исключено существование множества авторов), последняя его редакция осуществлена врачом М. Велльманом в 1901 году. В этой работе левое полушарие человека связывается с интеллектом, в правое – с восприятием. Г.-Я. Локхорст (Lokhorst, 1996) объясняет это представление следующим образом. В Греции в те времена врачи при вскрытии трупов видели, что у человека в левой половине сердца крови несколько меньше, чем в правой. Пытаясь понять причину этого явления, они предположили, что в левой половине сердца находится не кровь, а пневма. Поэтому они помещали душу в левую часть сердца. Кроме того, они исходили из того, что каждое полушарие мозга управляет половиной сердца той же стороны. Именно поэтому управляющую «душевной» частью сердца половину мозга связывали с интеллектом.

В Средние века левшей беспощадно преследовали, поскольку существовало мнение, что все они одержимы дьяволом. Позднее это суеверие было заменено суждением о том, что они более предрасположены к преступлениям, алкоголизму, азартным играм и распутству (Доброхотова, Брагина, 1994). Негативное отношение к левшеству было следствием особенностей средневековой науки в целом. Наука в то время могла существовать только при соответствии религиозным представлениям. Многие достижения античной науки были объявлены вне закона как несоответствующие теологическому мировоззрению. Например, в 1131 г. Реймский собор наложил запрет на изучение медицинской литературы. Теологически-текстовый характер познавательной деятельности обуславливал преимущественное изучение понятий и символов, а не самой действительности (Философия науки, 2010). Любое отклонение от повсеместно распространённой «нормы» рассматривалось как символ греха, нарушение божественного замысла. В христианстве негативное отношение к левшеству проявилось в религиозных обрядах и культовых образах. В языковой культуре закреплено понимание «правый» в значении «правильный», «правдивый, честный», а «левый» – «неправильный», «незаконный», «нечестный». В английском языке слово «леворукий» приобрело дополнительные значения «неуклюжий», «лицемерный», «зловещий», «незаконный». Такое отношение к левшеству наряду с отрицанием материалистической основы психических функций привело к тому, что до XVIII в. систематических исследований

межполушарной асимметрии не проводилось. Впрочем, и в конце XVIII – начале XIX вв. открытию функциональной асимметрии мозга препятствовало представление учёных об идентичности функций полушарий в норме (Леутин, Николаева, 2005).

Одно из самых ранних свидетельств изменения психических функций при поражении одного полушария головного мозга относится к 1745 г., когда Дэлин описал случай сохранения музыкальных способностей при потере речи (Benton, Joynst, 1960). Больной мог петь гимны и молиться вслух, читая нараспев, но не мог сказать ни одного слова. Позднее собственные способности полушарий стали обсуждаться благодаря работам френологов, пытавшихся локализовать духовные способности в определённых частях черепа и мозга (Галль, Шпурцгейм, 1816; *Manual of phrenology...*, 1835). Согласно френологии все способности человека предопределяются активностью конкретных участков мозга. Разрастаясь, участки мозга, чаще других включённые в работу, формируют выпуклость на черепе. Изучая их, можно предсказать способности человека. В научных кругах того времени отмечали, что достоверных подтверждений френологии не было. Между тем основная идея о том, что разные функции контролируются разными областями мозга, нашла многих последователей (Сергиенко, Дозорцева, 2004).

Существенным прорывом в исследовании функциональной неравнозначности полушарий стала работа психиатра А. Вигана «О двойственности сознания» (Wigan, 1844; Clarke, 1987). Он сопоставил нарушения мозга с психическими расстройствами и пришёл к выводу, что за психическими заболеваниями стоит рассогласование в работе полушарий. В середине XIX века сложилось представление о том, что у здорового человека оба полушария должны работать синхронно, а разрушение подобной «гармонии» ведёт к душевным болезням (Леутин, Николаева, 2005). При этом большинство исследователей соглашались с тем, что ведущую роль играет левое полушарие, которое лучше снабжается кровью, т.к. ребёнку с рождения навязывают привычку действовать правой рукой. В ответ на это в конце XIX века возникли общественные течения, отстаивающие право на амбилатеральную культуру (Harrington, 1989).

В 1836 году М. Дакс, выступая в медицинском обществе города Монпелье, привёл наблюдения 40 больных с повреждениями мозга, сопровождавшимися снижением или потерей речи. Они вызывались дефектами только левого полушария (Dax, 1865). Интерес к этой проблеме был вновь инициирован исследованиями П.П. Брока (Broca, 1861), который, заинтересовавшись докладом Э. Обуртена, сообщившего в 1861 году на заседании Общества антропологов в Париже о локализации центра речи в лобных долях, представил научному сообществу мозг умершего больного, страдавшего расстройством речи, вызванным повреждением левого полушария. П.П. Брока считал, что причиной

нарушения речи было поражение в лобной доле левого полушария. Этот участок, прилегающий к двигательной коре и управляющий мышцами лица, языка, челюстей и глотки, получил название зоны Брока, а возникающее при его поражении расстройство экспрессивной речи, стали называть афазией Брока. Позднее К. Вернике (Wernicke, 1874) обнаружил, что при поражении верхнезаднего участка височной области левого полушария (зоны Вернике) возникает другая афазия, жертвы которой, произнося хорошо артикулированные звуки, строят грамматически правильные, но совершенно бессмысленные фразы. Основным дефектом здесь является нарушение понимания речи, обращённой к больному. Собранные к концу XIX века клинические данные привели к формированию представлений о ведущей роли левого полушария в психической деятельности. Предполагалось, что латерализация ведущей руки напрямую связана с латерализацией центров речи. В настоящее время получены данные, опровергающие эту позицию (Van der Haegen et al., 2013).

Вместе с тем, по мнению английского невролога Дж.Х. Джексона (Jackson, 1874), преобладающая роль структур левого полушария прослеживалась в обеспечении ими сложных форм произвольной речевой деятельности, а реализация автоматизированных речевых функций связывалась с работой правого полушария. Джексон также указывал на роль правого полушария в осуществлении зрительного восприятия (Джексон, 1996, 2010). Несмотря на это, концепция доминантности полушарий, согласно которой при решении всех гностических и интеллектуальных задач ведущим у правшей является левое полушарие, а правое оказывается относительно пассивным, существовала почти столетие. Постепенно накапливались сведения, указывающие на научную несостоятельность этих представлений. Например, клинические наблюдения демонстрировали, что пациенты с повреждениями правого полушария испытывают трудности при одевании. Также наблюдалась связь дефектов пространственных функций и определённых форм агнозий с правосторонней локализацией мозгового поражения (Кок, 1967; Бабенкова, 1971).

В начале XX века стали появляться сведения о различиях в результатах выполнения психологических тестов больными с поражениями правого и левого полушарий. Стало понятно, что межполушарная асимметрия является частным случаем межполушарного взаимодействия, в той или иной мере обеспечивающего реализацию всех психических процессов. Первая информация о роли парного взаимодействия полушарий в связи с дефектами мозолистого тела была получена Х.К. Липманном в 1905 году (Liermann, 1905). В современной нейропсихологии показано, что больные с поражением мозолистого тела «демонстрируют дефицит глубинных структур, задних отделов правой гемисферы и передних отделов левой гемисферы головного мозга» (Ковязина, 2012, с. 147).

Новая эпоха в исследовании межполушарного взаимодействия началась в 40-х годах XX века с внедрением в нейрохиргию метода церебральной комиссуротомии, заключающегося в перерезке связей между двумя полушариями. Операция проводилась на больных эпилепсией для предотвращения образования вторичных эпилептогенных очагов в противоположном полушарии. Впервые она была осуществлена в 1940 году (Van Wagenen, Herren, 1940). Это было неглубокое расщепление полушарий: только у одного из 28 оперированных были полностью разделены мозолистое тело и передняя комиссура. После операции больные подвергались исследованию с помощью разнообразных психологических и неврологических тестов (Akelaitis, 1940, 1941a, 1941b, 1942a, 1942b, 1943, 1944, 1945; Akelaitis et al., 1941; Akelaitis, Risteen, Van Wagenen, 1943). Было установлено, что чистая срединная перерезка мозолистого тела не сопровождается расстройствами речи, письма, чтения, познания, восприятия пространства и времени. Однако воспроизведение двигательных навыков, которыми владела правая рука, оказывалось затруднённым необученной левой рукой по сравнению с дооперационным периодом (Smith, Akelaitis, 1942; Smith, 1951). Затем вследствие малой эффективности от церебральной комиссуротомии на время отказались. Изолированное функционирование полушарий вновь стало исследоваться благодаря работам Р.У. Сперри. В результате экспериментов по расщеплению мозга животных было установлено, что перенесшие подобную операцию кошки вели себя так, как если бы у них было два мозга, каждый из которых способен действовать независимо от другого (Myers, Sperry, 1953). Подобная процедура опять стала использоваться для ограничения эффектов эпилептического приступа, но теперь уже производили более глубокое расщепление мозга (Bogen, Vogel, 1962). Р.У. Сперри с коллегами имели возможность изучать людей, перенесших комиссуротомию. В одном из исследований (Gazzaniga, Bogen, Sperry, 1965) они наблюдали, что пациенты, которым в правую руку давали предмет, могли определить его словесно, так как информация от правой стороны тела поступает в левое полушарие, где находится центр языковой обработки. Если же им давали объект в левую руку, они не могли описать его словами, но могли указать на него только левой рукой. Был описан синдром расщеплённого мозга, включающий следующие симптомы: нарушение координации движений, в которых участвуют две конечности; игнорирование левой половины тела и левой половины зрительного поля; невозможность прочесть слова или назвать предметы, предъявляемые в правое полушарие (аномия); нарушение письма и конструктивной деятельности одной рукой, при которых письмо может осуществляться только правой, а рисование только левой рукой (дископия-дисграфия).

В 1949 году Дж.А. Вада разработал метод, заключающийся в поочерёдной кратковременной инактивации полушарий с помощью инъекции амитал-натрия (Wada, 1949). Результаты теста Вада показали, что более чем у 95% всех праворуких людей, не имевших в раннем возрасте травм или поражений мозга, язык и речь контролируются левым полушарием, а у остальных 5% – правым. Большая часть леворуких – около 70% – также имеют речевые зоны в левом полушарии. У половины из остальных левшей (около 15%) речь контролируется правым полушарием, а у другой половины (15%) – обоими (Milner, 1974). Это обстоятельство не позволяет считать распределение функций в мозгу левшей прямо противоположным особенностям асимметрии праворуких людей. Когда тесту Вада подвергались больные, перенесшие повреждение левого полушария в ранний период жизни, оказалось, что правое полушарие у них либо полностью контролирует, либо участвует в контроле над речью у 70% леворуких больных и 19% праворуких. Правое полушарие у этих больных приобрело способность управлять речью и компенсировало ущерб, причинённый в раннем возрасте левому полушарию (Блум, Лейзерсон, Хофстедтер, 1988; Данилова, Крылова, 1997).

Правое полушарие тоже может работать с речевым материалом, но делает это по-своему. У людей, владеющих несколькими языками, латерализация речевых функций зависит как от времени, так и от способа усвоения того или иного языка (Penfield, Roberts, 1959; Вальд, 1961; Minkowski, 1963; Черниговская, Балон, Деглин, 1983). При левосторонней гемисферэктомии правое полушарие у билингвов может частично брать на себя речевые функции (Trudeau et al., 2003). Даже при функциональном доминировании левого полушария правое полушарие способно узнавать буквы, отдельные слова и короткие предложения (Zaidel, 1975; Gazzaniga, LeDoux, 1978). Впрочем, хотя правое полушарие и обладает некоторой способностью к пониманию речи, оно остаётся «немым», т.е. не может само программировать речь так, как это делает левое полушарие.

Роль полушарий в осуществлении зрительных и пространственных процессов также различается. В большинстве случаев правое полушарие доминирует над левым в восприятии пространственных соотношений и манипулировании предметами в соответствии с ними (Блум, Лейзерсон, Хофстедтер, 1988). М. Газзанига (Gazzaniga, 1972) предположил, что правое полушарие имеет незначительное преимущество в восприятии пространственных отношений. Истинное его превосходство связано со способностью физически проецировать такие восприятия на предметы при манипулировании ими. Известно, что правое полушарие головного мозга характеризуется более развитой зрительной корой (Geschwind, 1974). В.В. Суворова, М.А. Матова, З.Г. Туровская (1988, с. 17) предполагают, что это связано с большим размером височных зон левого полушария:

«темпоральная зона в левом полушарии разрастается за счёт соседних областей и при этом занимает часть пространства, "предназначавшегося" задней части мозга». Зрительные функции обеспечиваются не только затылочными, но и височными отделами преимущественно правого полушария (Mullan, Penfield, 1959; Доброхотова, Брагина, 1977). Клинические данные свидетельствуют о том, что «правая височная лобэктомия часто приводит к слабым, но отчётливым нарушениям зрительного обучения и понимания зрительных образов. Повреждения левой височной доли не влияет на зрительное восприятие, за исключением восприятия словесного материала...» (Милнер, 1973, с. 262).

Интересные результаты были получены при использовании модели односторонних электросудорожных воздействий. Благодаря исследованиям больных после указанных воздействий описаны особенности вклада структур левого и правого полушарий в реализацию целого ряда психических функций (Балонов, Деглин, 1976; Балонов и др., 1979; Деглин, 1995). Например, изучение рисунков, выполненных в условиях временного угнетения одного полушария, позволило вскрыть два способа отображения пространства, свойственных человеку (Деглин, Ивашина, Николаенко, 1986). Один из них, связанный преимущественно с работой правого полушария, способствует ориентировке человека в непосредственно окружающем его пространстве и передаче целостного зрительного образа трёхмерного пространства на плоскости. Другой, в большей степени связанный с работой левого полушария, способствует созданию обобщённого представления об объективных свойствах пространства, понятийному отображению пространства в рисунке. Также были продемонстрированы (Балонов, Деглин, 1976, 2010) различия в восприятии сложных неречевых звуковых образов в условиях инактивации правого или левого полушария. В период инактивации левого полушария опознание неречевых звуков и шумов облегчается, что свидетельствует о конкуренции между полушариями в норме.

Многие выявленные закономерности оказались справедливы лишь в отношении мозга взрослого человека. При поражении мозолистого тела в детстве синдром расщеплённого мозга не возникает, что объясняется морфологической и функциональной незрелостью структур, объединяющих полушария. Процесс латерализации в онтогенезе идёт нелинейно, с чередованием доминирования правого и левого полушарий, с постепенным переходом от дублирования функций к их полушарной специализации (Thatcher, 1992, 1994, 1996; Сергиенко, 2006). Формирование и развитие функциональной мозговой латерализации происходит под влиянием целого комплекса биологических и социальных факторов (Буравлева, 2012; Семенович, 2010, 2011, 2013). При поражении одного из полушарий в раннем возрасте другое способно почти полностью компенсировать его функции. Это является закономерным следствием принципа

пластичности мозга (Симерницкая, 1985; Neville, Bavelier, 2000; Гусев, Камчатнов, 2004; Butefisch, 2004; Дойдж, 2011; Костанди, 2017). Например, при повреждении речевых областей коры левого полушария в ранний период жизни выполнение их функций берут на себя корковые зоны правого полушария. Психическое развитие детей с удалённым по медицинским показаниям в младенческом возрасте левым полушарием идёт почти без нарушений. Лишь крайне специализированные тесты выявляют небольшую разницу в чувствительности к грамматической организации предложений (Dennis, Whitaker, 1976).

Во второй половине XX века концепция доминантности левого полушария сменилась теорией функциональной специализации полушарий. Сначала преобладала идея материальной специфичности, согласно которой левое полушарие отвечает за обработку вербальных стимулов, а правое – невербальных. Затем каждое полушарие стало рассматриваться как обладающее своей стратегией переработки информации и своими способами регуляции функций. Накопление научных данных привело к представлению о том, что полушария отличаются не тем, с какой информацией они работают, а тем, каким способом они это делают (Николаева, 2003).

В литературе наметился внушительный перечень основных тенденций в специализации полушарий. Наиболее часто упоминаются такие дихотомии полушарной специализации как: вербальное-невербальное, время-пространство, анализ-синтез, сукцессивное-симультанное, абстрактное-конкретное (левое-правое). «Левополушарные» люди склонны к абстрактно-символическому, словесному, логическому мышлению, а «правополушарные» – к целостному, синтетическому, образному. Согласно гипотезе Э. Гольдберга и Л.Д. Коста (1995), нейроанатомические различия в организации полушарий создают предпосылки для реализации различных стратегий при осуществлении когнитивной деятельности. Левое полушарие обеспечивает опору на системы кодирования, уже имеющие в индивидуальном опыте, а правое – осуществляет первоначальную ориентировку в ситуации и при необходимости составляет новую, адекватную заданию дискриптивную систему. В психофизиологических исследованиях продемонстрировано, что межполушарная асимметрия по-разному представлена у мыслительного и художественного типов (по И.П. Павлову). Предполагается, что у людей с художественным типом высшей нервной деятельности доминирует функция правого полушария как основа их образного мышления, а у представителей мыслительного типа ведущая роль принадлежит левому полушарию (Данилова, 2004). Также есть сведения о том, что полушария различаются по способу кодирования информации (Kosslyn, 1987), а их совместная работа лежит в основе системы двойного кодирования в системах познания (в пропозиционально-логической и образной формах), описанной А. Пайвио (Paivio, 1971;

Пайвио, 2011). Между тем термины «левополушарный» и «правополушарный» не следует понимать буквально, поскольку у здорового человека всегда работают оба полушария. Как указывают Н. Сандберг, А. Уайнбергер и Д. Таплин (2007, с. 288), «"популярная психология" часто сильно преувеличивает асимметричные функции полушарий. Представления, согласно которым "логикой заведует левое полушарие" или "рисованием заведует правое полушарие", похоже, намного опережают имеющиеся данные, и следует проявлять осторожность, прежде чем называть конкретные сложные паттерны поведения сугубо "правополушарными" или "левополушарными"». Большинство современных исследователей критически относятся к всё нарастающему числу дихотомий полушарной специализации и стремятся найти лежащих в их основе универсальные объяснительные принципы. Увлечение поиском новых дихотомий было названо С. Спрингер и Д. Дейчем (1983) «дихотоманией», что отражает неоправданность подобного подхода к изучению функций полушарий.

По мере накопления новых данных снижается категоричность определений и характеристик функциональных преимуществ каждого из полушарий. Они становятся многозначнее и всё больше стремятся к отражению специфического полушарного вклада в определённый единый процесс (Семенович, 2010). Например, по мнению В.С. Ротенберга (1980, 1987а), левое полушарие организует материал таким образом, что создаётся однозначный контекст, понимаемый всеми одинаково. Это необходимо для успешного общения людей между собой. Правое полушарие формирует многозначный контекст, который не поддаётся исчерпывающему объяснению в традиционной системе общения. Левое полушарие выделяет высоковероятные события и формулирует закономерности появления сигналов. В ситуации неопределённости правое полушарие оценивает среду и прогнозирует маловероятные события. С функциями левого и правого полушария у человека связаны два типа мышления – абстрактно-логическое и пространственно-образное. Вербально-логическая память, связанная с функцией левого полушария, рассматривается в виде множества линейных цепей, каждое звено которых соединено обычно не более чем с двумя другими. Сами цепи также соединяются между собой только в отдельных звеньях. Образная память, обеспечиваемая работой правого полушария, опирается на густое сплетение множества взаимосвязанных, расположенных в многомерном пространстве звеньев (Ротенберг, 1987б).

В отечественной нейропсихологии проблема функциональной асимметрии мозга разрабатывается с позиций теории системной динамической локализации (организации) ВПФ, сформулированной в научной школе Л.С. Выготского и А.Р. Лурии. Ни одно из полушарий не может рассматриваться как доминирующее, т.к. обе половины мозга

участвуют в обеспечении психических функций, в каждом случае внося свой специфический вклад (Лурия, Симерницкая, 1975; Симерницкая, 1978; Механизмы деятельности мозга..., 1988; Котик, 1992). В предисловии к книге Э.Г. Симерницкой «Доминантность полушарий» (1978, с. 6) А.Р. Лурия писал, что «факты, которые были получены за последние годы, показали, что мы должны отказаться от упрощённых представлений, согласно которым одни (речевые) процессы осуществляются только левым (у правшей) полушарием, в то время как другие (неречевые) – только правым полушарием. Психологический анализ показал, что практически все психические процессы являются сложными по их функциональной организации, ибо они могут совершаться на разных уровнях (непроизвольном и произвольном, неосознанном и осознанном, непосредственном и опосредствованном). Это позволяет достаточно обоснованно предполагать, что существует тесное взаимодействие обоих полушарий, причём роль каждого из них может меняться в зависимости от задачи, на решение которой направлена психическая деятельность, и от структуры её организации». Межполушарная функциональная асимметрия понимается как различное по характеру и неравное по значимости участие левого или правого полушарий в осуществлении психических функций. В различных системах характер функциональной асимметрии может быть неодинаков (Хомская, 2010).

Знания о функциональной межполушарной асимметрии имеют большое значение для клинической практики. Это находит своё отражение в руководствах по нейропсихологической диагностике, где особое внимание уделяется специфике нарушений психических функций при поражениях мозга различной латерализации (Максименко, Ковязина, 1998; Полонская, 2007; Глозман, 2012; Семенович, 2013). Сравнительный анализ нейропсихологических синдромов, возникающих при поражении симметричных отделов левого и правого полушарий, выявил неравнозначность вклада каждого из них в различные виды психической деятельности (Брагина, Доброхотова, 1988; Семенович, 1991; Корсакова, Московичюте, 2003; Балашова, Ковязина, 2012; Доброхотова, 2013). Всё больше стали изучать асимметрию подкорковых структур, тогда как раньше подавляющее большинство исследований было посвящено исключительно корковой асимметрии (Хомская, 1995). В отечественной нейропсихологии выделяют моторные, сенсорные и «психические» асимметрии, причём каждая из них подразделяется на множество подвидов (Доброхотова, Брагина, 1977, 1994). Внутри моторной асимметрии могут быть выделены ручная (мануальная), ножная, оральная, глазодвигательная и др. К сенсорным асимметриям относят зрительную, слуховую, тактильную, обонятельную и др. К «психическим» – асимметрию мозговой организации

речевых, перцептивных, мнестических, интеллектуальных и других высших психических функций (Хомская и др., 1997, 2011). Функциональная асимметрия взрослого человека рассматривается как продукт действия биосоциальных механизмов (Хомская, 1998).

Появление в конце XX века в качестве самостоятельной области исследований дифференциальной нейропсихологии нормы, рассматривающей в качестве основы индивидуальных различий особенности межполушарных отношений, ознаменовало новый виток в истории исследования функциональной асимметрии мозга. На сегодняшний день основой этого направления служит типология индивидуальных различий, представленная в работах Е.Д. Хомской с соавторами (1997, 2011), В.А. Москвина (1990, 2002), В.А. Москвина, Н.В. Москвиной (2011). Особенности функциональной асимметрии у здоровых людей начинают учитываться при проведении обучения (Еремеева, 1989; Голубева и др., 1991; Hannaford, 1997; Москвин, Москвина, 2003, 2011; Буравлева, 2012) и в профориентационной работе (Степанов, 2008, 2013; Хохлов, 2015а). Мы также обсуждали перспективы применения достижений дифференциальной нейропсихологии в обучении информатике и математике (Ковязина, Мячев, Хохлов, 2012; Хохлов, 2012).

Как отмечает Б.С. Котик (1992), развитие взглядов на проблему парной работы полушарий всегда шло в ногу с попытками практического использования знаний о функционировании мозга. Основными потребителями информации в этой области являются медицина и педагогика. Целью нейропсихологических исследований межполушарных отношений остаётся изучение специфического вклада каждого из полушарий и их взаимодействия в осуществление системной психической деятельности человека.

## **2.2. Приёмы и методы диагностики межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия**

Приёмы и методы диагностики межполушарных отношений условно можно разделить на аппаратные и неаппаратные. Первые широко распространены в нейрофизиологии и психофизиологии, вторые чаще применяются в нейропсихологии.

Примеры использования функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) для определения функциональной асимметрии мозга представлены в работах (Hugdahl et al., 1999; Bernal, Altman, Medina, 2004; Hugdahl, 2005; Chlebus et al., 2007; Cai, Van der Haegen, Brysbaert, 2013). Исследования с применением электроэнцефалографии (ЭЭГ) выявляют различия характеристик электрических процессов в полушариях головного мозга (Жаворонкова, 2006, 2009). При визуальной оценке ЭЭГ в норме в состоянии покоя отмечается

значительное сходство паттерна биоэлектрической активности правого и левого полушарий. Межполушарные различия её рисунка в одновременно зарегистрированных симметричных регионах наиболее отчётливо проявляются в  $\alpha$ -диапазоне (Grabow et al., 1979; Glass, Butler, Carter, 1984). У здоровых испытуемых с регулярным  $\alpha$ -ритмом в состоянии спокойного бодрствования активность доминантного (по речи) полушария характеризуется меньшей амплитудой и, в некоторых случаях, большей частотой. Имеются определённые различия этой асимметрии у людей с разным индивидуальным профилем асимметрии. У правшей, как правило, амплитуда  $\alpha$ -ритма меньше в затылочно-теменных отделах левого полушария по сравнению с правым. У левшей асимметрия  $\alpha$ -ритма проявляется в меньшей степени, или его амплитуда ниже в правом полушарии (Жаворонкова, Болдырева, Доброхотова, 1988; Гриндель, Жаворонкова, 2001). Функционально более активным считают то полушарие, в котором мощность  $\alpha$ -активности ниже (Robbins, MacAdam, 1974; Павлова, Романенко, 1988). Более подробно особенности использования ЭЭГ и метода вызванных потенциалов (ВП) для исследования межполушарной асимметрии описаны в статье Е.В. Шаровой с соавторами (2009).

В нейропсихологии разработано множество неинвазивных методов диагностики (тестов и проб), предназначенных для оценки межполушарных отношений. Поскольку межполушарная асимметрия рассматривается как частный случай межполушарного взаимодействия (Бианки, 1989), все эти методики можно условно разделить на два типа. Первые предназначены для оценки межполушарной асимметрии и основаны на принципе стимуляции одного анализатора (или реакции одной рукой, ногой и т.п.), в этом случае два анализатора изучаются последовательно. Вторые используются для оценки межполушарного взаимодействия и основаны на принципе двойной стимуляции (или одновременного реагирования). Здесь возникает особая ситуация конфликта двух разных программ, что позволяет выявить скрытые признаки асимметрии функций (Ефимова, 2007). Необходимо также различать методы диагностики анатомической и функциональной асимметрий. С одной стороны, анатомические асимметрии могут отражать врождённую латерализацию мозга, с другой стороны, далеко не всегда имеет место соответствие анатомических асимметрий функциональным.

В литературе представлены десятки методик оценки асимметрии рук, ног, слуха, зрения, так или иначе претендующих на диагностику функциональной мозговой асимметрии. Описания наиболее популярных в современной психологии приёмов исследования латеральных признаков в норме и патологии можно найти в книгах Н.Н. Брагиной, Т.А. Доброхотовой (1988), В.П. Леутина, Е.И. Николаевой (1988, 2005), Е.Д. Хомской с соавторами (1995), Е.А. Силиной, Т.В. Евтух (2004), А.П. Бизюка (2005), А.

Майской (2006), И.В. Ефимовой (2007), Е.И. Николаевой (2009), В.А. Москвина, Н.В. Москвиной (2011), Т.В. Пятницы (2011, 2014), О.А. Шелопуха (2011), Т.А. Доброхотовой (2013), а также в статьях М. Аннетт (Annett, 1992), Е.В. Шаровой с соавторами (2009) и А.П. Чуприкова, Р.М. Гнатюк (2009), И.С. Гориной, О.Б. Степановой, А.В. Быковой (2013). Для удобства проведения обследования самые распространённые тесты и пробы были сведены в единую схему записи латеральных признаков (Чуприков, Клейн, Савченко, 1985).

Отдельную группу методов представляют разнообразные опросники для оценки степени функциональной асимметрии. Наиболее известны из них опросник М. Аннетт (Annett, 1970, 1992; Чуприков, Казакова, 1982), опросник для определения асимметрии (Crovitz, Zener, 1962), опросник для определения асимметрии рук (Безруких, 2003), сенсibilизированный опросник для определения «рукости» для подростков и взрослых (Чуприков, 1985), Луганский сенсibilизированный опросник для определения «рукости» у детей (Чуприков, Гнатюк, 2009). Русскоязычные варианты исходно англоязычных опросников приведены в приложении к книге И.В. Ефимовой (2007). Каждый из этих опросников представляет собой набор вопросов, касающихся выполнения тех или иных предметных действий. Респондентам требуется ответить, какой рукой они выполняют эти действия. В ряде опросников предлагаются варианты «только правой (левой)», «чаще правой (левой)», «любой». Полученные ответы оцениваются в баллах, сумма баллов используется для оценки степени асимметрии. В отличие от функциональных проб проведение этих методик базируется на интроспективном отчёте самих испытуемых. Среди считающих себя правшами много амбидекстров и леворуких. Мужчины чаще, чем женщины, склонны, считать себя леворукими (Bryden, 1977). Другим недостатком опросников является то, что их структура способствует автоматическому повторению ответов (Barnsley, Rabinovitch, 1970). Такого недостатка лишён опросник Н.Ф. Crovitz и К.А. Zener (1962), где действия доминантной и недоминантной руки чередуются. Ни один из упомянутых опросников для определения асимметрии не проходил психометрическую проверку как психодиагностический тест. Иными словами, здесь вообще не приходится говорить о валидности, надёжности и достоверности. Для решения этой проблемы нами были созданы опросник функциональной мануальной асимметрии «МГУ-2013» (Хохлов, Большакова, 2013; Хохлов и др., 2013) и стандартизированная модификация опросника М. Аннетт (Annett, 1970) для оценки функциональной мануальной асимметрии (Хохлов, Бузова, 2014), отвечающие требованиям психометрического конструирования тестов.

Ещё одной проблемой является содержание вопросов и их способность дифференцировать испытуемых на право- и леворуких. Например, М. Аннетт (Annett,

2009) выявила различие между первичными (бросать, зажигать спичку, чистить зубы, держать молоток) и вторичными (вставлять нитку в иголку, держать метлу и лопату, раздавать карты, откручивать крышку банки) действиями. Было обнаружено, что количество праворуких и леворуких (по письму), выполняющих первичные действия неведущей рукой, примерно одинаково. Для вторичных же действий праворукие чаще используют левую руку, нежели леворукие правую. Это означает, что одни и те же вопросы могут обладать различной дифференцирующей силой в зависимости от того, исследуем ли мы праворуких или леворуких испытуемых. Н.Н. Николаенко (2013) в рамках исследования изменения моторных и сенсорных асимметрий человека как проявления пластичности нервной системы у высококвалифицированных спортсменов выделил 11 признаков (предметных действий), описывающих предпочтение руки. Далее результаты выполнения данных действий профессиональными спортсменами и здоровыми испытуемыми из контрольной группы были подвергнуты факторному анализу. Выяснилось, что в контрольной группе почти все тесты с большими нагрузками вошли в первый фактор, и только тест на точность попадания в мишень составил другой фактор. У спортсменов же было выделено три фактора. В первый фактор вошли тесты, названные автором инструментальными (бросок мяча, держание ножа, молотка, отвёртки, метлы, вдевание нитки в иголку). Во второй – тесты, требующие большего участия пальцев, а не всей ладони: держание зубной щётки, расчёски и скрещивание пальцев (с отрицательным значением факторной нагрузки). Третий фактор описывал силу рук и точность попадания в мишень, причём с отрицательной корреляцией (чем сильнее правая рука, тем точнее левая, и наоборот). Полученные результаты, безусловно, свидетельствуют о неравнозначности различных предметных действий для разных групп испытуемых, что лишнее раз указывает на необходимость переосмысления диагностической ценности широко применяемых опросников.

Рассмотрим подробнее метод комплексной оценки межполушарной асимметрии, используемый в наиболее авторитетных отечественных исследованиях, выполненных в русле нейропсихологии индивидуальных различий (Хомская и др., 1995; Хомская и др., 1997, 2011). Е.Д. Хомская и И.В. Ефимова (1989, 1991) предложили понятие «профиль латеральной организации» (ПЛО) мозга, обозначающее право-левое соотношение функций трёх основных систем: мануальной, слухоречевой и зрительной. В основу данного метода были положены следующие принципы:

- 1) Использование трёх типов асимметрий: мануальной, слухоречевой, зрительной;
- 2) Оценка не только факта асимметрии, но и его степени (т.е. выделение степени «рукости», «ухости» и «глазости») в баллах;

3) Признание разной значимости мануальной, слухоречевой и зрительной асимметрии, что отражено в порядке их расположения при описании варианта ПЛЮ: рука-ухо-глаз.

Исследование ПЛЮ включает три группы методик:

1) Мануальная асимметрия

- Самооценка обследуемых с помощью опросника М. Аннетт (Annett, 1970): если испытуемый пользуется только правой рукой – 3 балла, когда он в 1-3 случаях одинаково пользуется и правой, и левой рукой – 2 балла, если в 4-10 случаях он пользуется и правой, и левой рукой – 1 балл, если больше, чем в 10 случаях (из 22) используется левая рука – 0 баллов.

- Моторные пробы «Переплетение пальцев кистей», «Поза Наполеона», «Тест на аплодирование» (Лурия, 1962): если в пробе на переплетение пальцев сверху находится большой палец правой руки – 1 балл, левой руки – 0 баллов; если при скрещивании рук на груди сверху находится локоть правой руки – 1 балл, левой – 0 баллов; если при аплодировании сверху находится правая рука – 1 балл, левая – 0 баллов.

- Динамометрия – измерение силы кисти каждой руки с помощью ручного динамометра (Брагина, Доброхотова, 1988). Если коэффициент правой руки положительный – 2 балла, асимметрия отсутствует – 1 балл, отрицательный – 0 баллов.

- Теппинг-тест – оценка темпа, ритма и устойчивости движений. Если коэффициент правой руки положительный – 2 балла, асимметрия отсутствует – 1 балл, отрицательный – 0 баллов.

- Треморометрия – методика для оценки мануальной координации. Если коэффициент правой руки положительный – 2 балла, асимметрия отсутствует – 1 балл, отрицательный – 0 баллов.

2) Слухоречевая асимметрия

- Дихотическое прослушивание. 16 серий из 4 пар односложных слов, по 8 серий до и после смены наушников: при коэффициенте правого уха (КПУ)  $> 15\%$  – 4 балла, при  $5\% < \text{КПУ} < 15\%$  – 3 балла, при  $-5\% < \text{КПУ} < 5\%$  – 2 балла, при  $-15\% < \text{КПУ} < -5\%$  – 1 балл, при  $\text{КПУ} < -15\%$  – 0 баллов.

3) Зрительная асимметрия

- Проба Розенбаха (Лурия, 1962; Berman, 1971) и проба «Карта с дырой» (Annett, Kilshow, 1982; Брагина, Доброхотова, 1988). Если обе пробы выявляют доминирование правого глаза – 2 балла, если в одной пробе ведущим был правый, а в другой – левый глаз – 1 балл, когда при выполнении обеих проб отмечалось доминирование левого глаза – 0 баллов.

Согласно данной системе максимальное количество баллов у правшей могло равняться 18 баллов, а, соответственно, минимальное количество баллов у левшей – 0 баллов. Между этими двумя полюсами распределялись все возможные варианты профилей испытуемых. По соотношению всех трёх видов асимметрий, определяемых по схеме «рука-ухо-глаз», теоретически могут быть выделены 27 вариантов асимметрий. В соответствии с принятыми критериями выделяются 5 типов:

1) «Чистые» правши (ППП). Данный тип включает две подгруппы: а) «сильных правшей» (11-12 баллов по мануальным пробам, 17-18 баллов по всем признакам), б) «средних правшей» (9-10 баллов по мануальным пробам, 14-16 баллов по всем показателям).

2) Праворукие – испытуемые с различными вариантами доминирования уха и глаза (по мануальным пробам 9-12 баллов, общее число баллов от 9 до 17).

3) Амбидекстры (по мануальным пробам 7-10 баллов при общей сумме 7-16 баллов).

4) Леворукие испытуемые с различными вариантами доминирования уха и/или глаза (0-2 балла по мануальным пробам при общем балле от 1 до 8).

5) «Чистые» левши (ЛЛЛ) – 0 баллов и по мануальным пробам, и по всем остальным показателям.

Описанный метод более чем на 20 лет стал эталонным для проведения исследований в русле нейропсихологии индивидуальных различий, рассматривающей в качестве дифференцирующего признака межполушарную асимметрию. Однако, на наш взгляд, недостатки этого метода к настоящему времени стали настолько очевидны, что необходимо если не полностью отказаться от него, то хотя бы внести существенные изменения. Во-первых, оценка проб в баллах проводится на основе априорно взятых коэффициентов, реальный вес которых не исследовался. То же касается и соотношения степени значимости «рукости», «ухости» и «глазости». Во-вторых, пять выделенных групп типов ПЛЮ представляют собой пересекающиеся множества, вместе с тем не охватывая определённую часть испытуемых (от 2 до 7 баллов по мануальным пробам). В-третьих, необходимость исключения пробы «Поза Наполеона» из списка моторных мануальных проб была обоснована В.А. Москвиным и Н.В. Москвиной (2011). При этом показан её самостоятельный диагностический потенциал (Sakano, 1982). В-четвёртых, пробы, концептуально предназначенные для диагностики одного типа асимметрии, могут давать несогласованные результаты, поэтому просто так складывать их результаты нельзя. В-пятых, есть основания полагать, что асимметрии мануальной, слухоречевой и зрительной систем связаны между собой.

Особое внимание стоит уделить дихотическому прослушиванию. Этот метод, предложенный Д. Кимурой (Kimura, 1961), на сегодняшний день является наиболее достоверным неинвазивным способом определения асимметрии слуха. То, что дихотический тест отражает именно доминантность полушарий по речи, подтверждалось полным совпадением результатов дихотических исследований с результатами пробы Вада. Это подтверждается и в более современных исследованиях (Hugdahl et al., 1997; Hugdahl, 2005). В нашей стране метод дихотического прослушивания был впервые введён Е.П. Кок, В.С. Кочергиной, Л.В. Якушевой (1971), а затем апробирован в дипломных работах Б.С. Котик «Роль фактора доминантности в формировании синдромов нарушения высших психических функций» (МГУ, 1972) и А.Б. Хавнина «Исследование латерализации речевой функции методом "дихотического прослушивания"» (МГУ, 1972). Используемая большинством отечественных исследователей модификация была разработана в лаборатории нейропсихологии факультета психологии МГУ (Котик, 1974), хотя иногда применяются и другие варианты методики дихотического прослушивания (например, Кауфман, Траченко, 1981; Траченко, 1987). При всех преимуществах данной методики вызывает вопросы следующая особенность процедуры её проведения. Для устранения возможного влияния технических артефактов после полного прослушивания всех серий наушники менялись местами. Таким образом, каждый испытуемый прослушивает набор слов дважды: сначала при исходном положении наушников, затем – при обратном. В конце 80-х гг. В.В. Суворовой, М.А. Матовой и З.Г. Туровской был предложен модифицированный вариант методики, в котором слова в двух сериях не повторялись для исключения возможности их запоминания (Кабардов, Матова, 1988), однако он не получил широкого распространения. Ещё в 70-х гг. XX века данный вопрос обсуждался в контексте изучения полушарной специализации при восприятии слов, предъявляемых в процессе дихотического прослушивания. Б.С. Котик (1976), исходя из предположения, согласно которому функционирование доминантного полушария связано с более произвольным и осознанным уровнем организации деятельности, а субдоминантное обеспечивает не только регуляцию неречевых процессов, но и некоторый более непосредственный уровень организации речевых процессов, экспериментально развела два уровня выполнения задачи дихотического прослушивания речевых стимулов, введя в качестве отчёта узнавание предъявлявшихся слов. При таких условиях не было обнаружено различий в точности узнавания слов, предъявлявшихся правому или левому уху. Было установлено, что стимулы воспринимаются с обоих каналов одинаково эффективно, однако неравноценность полушарий относительно осуществления устного воспроизведения создаёт условия для преимущественного воспроизведения стимулов с

правого уха. Данное обстоятельство приводит нас к необходимости интерпретировать результаты различных модификаций дихотических исследований с учётом существования нескольких психических процессов, протекание которых в конечном счёте обеспечивает воспроизведение испытуемым предъявленных ранее слов. Фактически при проведении дихотического прослушивания мы имеем дело с восприятием, запечатлением, кодированием (лингвистическим и образным), сохранением следов памяти, их сопоставлением (в том числе межполушарным) и воспроизведением. В таком случае о функциональной асимметрии здесь можно говорить как в отношении каждого из перечисленных процессов, так и в отношении всей функциональной системы, обеспечивающей переработку слухоречевой информации. В исследовании с использованием фМРТ было показано, что процессе выполнения дихотического прослушивания активируются как асимметричные, так и симметричные участки мозга (Westerhausen, Kompus, Hugdahl, 2014). В частности, симметричная активация была обнаружена в височных, теменных, нижних и верхнемедиальных лобных отделах. Относительное доминирование левого полушария отмечалось в задней верхней височной извилине, расположенной рядом с симметрично активированным регионом и образующей своеобразный градиент от симметричных областей к асимметричным в пределах области перед силвиевой бороздой. Полное доминирование левого полушария было выявлено в постцентральной и медиальной верхней лобной извилинах, а доминирование правого – в средней височной и средней лобной извилинах.

Основные результаты проведённого нами (Хохлов, Ковязина, 2012; Khokhlov, Kovyazina, 2013) эмпирического исследования, демонстрирующего недостатки метода определения ПЛО, представлены в параграфе 4.1. Слабые стороны описанного метода отмечают и другие исследователи (Николаева, Борисенкова, 2008; Николаева, Добрин, Яворович, 2012). Показано, что наибольшая точность прогноза психологических параметров достигается при использовании отдельных латеральных показателей, а не профиля функциональной сенсомоторной асимметрии.

Более общая проблема заключается в том, что подавляющее большинство методик диагностики межполушарных отношений на самом деле измеряют только лишь латеральные признаки. Переход от внешне наблюдаемых латеральных признаков к функциональной межполушарной асимметрии является известного рода допущением. Е.И. Николаева (2015, с. 9) по этому поводу пишет: «В большом числе работ о функциональной асимметрии мозга и о когнитивных функциях судят по латеральным сенсорным и моторным показателям, хотя доказательства подобной связи отсутствуют». Как указывает В.А. Москвин (1990), при проведении исследований в области

нейропсихологии индивидуальных различий необходимо учитывать, что латеральные признаки имеют гетерогенную природу. Экспериментально было подтверждено, что существуют следующие причины, оказывающие влияние на латерализацию: генетические (или наследственные), патологические (в большей степени связанные с пре- и перинатальными поражениями мозга), вынужденные (вследствие утраты или дефекта периферического отдела анализатора или ведущей конечности) и функциональные, связанные с научением или особенностями сенсомоторной координации при выполнении определённых видов деятельности (Москвин, Москвина, 1998).

Нельзя также сбрасывать со счетов изменчивость асимметрии в онтогенезе. Накоплены сведения, свидетельствующие об изменчивости доминирования различных функций, в частности, при многократном тестировании. Показатели асимметрии изменяются на разных стадиях осуществления той или иной функции (Фокин, Пономарева, 2004), под влиянием длительного практического опыта и в процессе адаптации к новым условиям (Леутин, Николаева, 1988, 2005). Как показали исследования Е.Д. Хомской с соавторами (2011), при многократном тестировании в моторной и слухоречевой системах увеличивается число лиц с симметричными признаками и значительно уменьшается число лиц с правосторонними и левосторонними признаками. В зрительной сфере показатели меняются меньше и только у юношей. На наш взгляд, это является следствием адаптации организма к ситуации диагностики асимметрии. При выполнении новой для испытуемого задачи наблюдается выраженная латерализация функций. Когда же задача становится знакомой, она автоматизируется и начинает выполняться на фоне более симметричного функционирования нервной системы.

Неоднозначность трактовки результатов методик сопровождается наличием множества альтернативных подходов к исследованию межполушарной асимметрии и сопоставлению её параметров с психологическими характеристиками. В большинстве исследований для обработки данных используются крайне примитивные или не подходящие для соответствующего типа данных математико-статистические методы (Николаева, 2015). Известная нам работа М. Мусалека (Musálek, 2013), в которой межполушарная асимметрия изучается с помощью структурного моделирования, представляет скорее приятное исключение. Как пишет А.Н. Кочергин (1973, с. 238), «степень использования математических средств, как известно, является свидетельством совершенства науки. Чем выше уровень развития той или иной научной дисциплины, тем выше её потребность в математических средствах». Автор отмечает, что «математизация придаёт структуре научного знания монолитность. Однако, кроме "каркаса" "здание" науки с необходимостью должно включать в себя и "строительный материал". Этим и

определяется роль и место математических средств в системе других методов научного исследования. Математические методы не могут быть самоцелью научного исследования вообще, они лишь средства познавательной деятельности человека. Каждая наука имеет свой предмет исследования, для которого характерны и специфические методы. Методы математики хотя и универсальны; но вместе с тем чрезвычайно абстрактны. Всякий математически выраженный результат исследования требует соответствующей интерпретации в духе того предмета исследования, в рамках которого используются математические средства» (там же, с. 249). Мы обсуждали эту проблему в наших публикациях (Хохлов, 2014в, 2015в). Основные трудности, с которыми сталкиваются при математической обработке результатов исследования межполушарной асимметрии, заключаются в том, что пробы на латеральные признаки предполагают измерение в категориальной (номинативной) шкале, а распределение результатов количественных методик зачастую существенно отличается от нормального. Однако всё это не является непреодолимым препятствием для работы с такими данными при адекватном подборе математико-статистических методов. Эти методы должны реконструировать скрытые от непосредственного наблюдения закономерности мозговой латерализации психических функций на основе внешне наблюдаемых индикаторов. Кроме этого, математико-статистические методы должны не только фиксировать различия в выраженности психологических характеристики при различных параметрах межполушарной асимметрии, но и позволять оценивать долю вариативности этих характеристик, объясняемую вариативностью межполушарных отношений.

### **2.3. Межполушарные отношения как фактор выраженности математических способностей**

Проблема мозгового обеспечения математических способностей исследовалась уже в начале XIX века в рамках френологии – признанной несостоятельной в настоящее время науки, изучавшей связь психики человека со строением поверхности его черепа. Френологи полагали, что все психические свойства локализуются в определённых участках мозга, а различия в мозговых извилинах можно определить по выпуклости или впадине на соответствующем участке головы. В работах основателя френологии Ф.И. Галля и его последователя И.Г. Шпурцгейма (Галль, Шпурцгейм, 1816; *Manual of phrenology...*, 1835) был сделан вывод о том, что центр вычислений располагается в участке мозга, по современным представлениям примерно соответствующем району средней лобной извилины ближе к прецентральной извилине. Несколько позже указанная локализация была пересмотрена, и центр счёта «переместился» в область между виском и

глазом, по-видимому, соответствующую задней части нижней лобной извилины. При этом латерализация вычислительных способностей не обсуждалась вообще: на одних френологических картах центр вычислений изображён справа, на других – слева.

Большинство нейропсихологических исследований в этой области выполнены на моделях акалькулии (нарушения счёта и счётных операций вследствие мозгового поражения) или дискалькулии (специфического функционального нарушения счётной способности, не связанного ни с повреждением мозговых структур, ни с какой-либо другой, определённой патологией) и ориентированы в первую очередь на изучение мозговых основ элементарных арифметических вычислений. В работах Л.С. Цветковой и А.Р. Лурии (Цветкова, 2003, 2005; Лурия, Цветкова, 2010) показано, что при поражении разных отделов мозга наблюдаются нарушения различных компонентов арифметических действий. При поражении затылочных систем мозга отмечаются затруднения в дифференцированном восприятии цифр. Локализация поражения в височных отделах приводит к нарушению узнавания и названия слов-числительных. Наиболее грубые дефекты обнаруживаются в устной форме счёта. Существенная роль в организации счёта принадлежит теменным и теменно-затылочным системам коры левого полушария. При теменной акалькулии на первый план выступает нарушение понимания состава и разрядного строения числа, значения арифметических знаков и направления отсчёта. У больных с поражением теменной и теменно-затылочных областей мозга возникает нарушение понимания связей и отношений между числами. При поражении лобных отделов нарушается вся интеллектуальная деятельность, что сказывается на способности к целенаправленному решению математических задач и проявляется в нестойкости задания, импульсивно всплывающих побочных связях чисел, в упрощении программы действия и появлении инертных стереотипов. Отметим, что в детской нейропсихологии выделяют несколько форм дискалькулий (вербальная, практогностическая, лексическая, графическая, идеогностическая, операциональная), связанных с преимущественной дисфункцией разных областей мозга (Ньюкиктъен, 2010; Микадзе, 2013).

В зарубежных исследованиях также предпринимаются попытки определить участки мозга, задействованные в выполнении счётных операций. Методы нейровизуализации позволили выяснить, что и у детей, и у взрослых, страдающих дискалькулией, недостаток активности при выполнении математических задач проявляется в области межтеменной борозды (Price et al., 2007). В исследовании Н. Молко с соавторами (Molko et al., 2003) показано, что развивающаяся дискалькулия может быть связана с нарушениями в правой части межтеменной борозды. В другом исследовании обнаружено, что при числовой обработке используются две разные нейронные сети. Участки с левой стороны больше

задействуются при обработке мелких чисел, тогда как при вычислениях с большими числами активно используются как левые, так и правые участки теменной коры (Stanescu-Cosson et al., 2000). Показано, что работа с числами и массивами точек сопровождается преимущественной активацией правой внутритеменной борозды, а работа с квантификаторами – активацией левой средней височной извилины и нижней лобной извилины (Wei et al., 2014). Интересные результаты получены американскими исследователями (Funnell, Colvin, Gazzaniga, 2007), изучавшими выполнение простых вычислений пациентом с расщеплённым мозгом. Левое полушарие превосходило правое в эффективности простых вычислений во всех случаях. Однако правое полушарие демонстрировало разную эффективность в зависимости от того, требовалось ли выполнять точные или приблизительные вычисления. Также на эффективность вычислительной работы правого полушария влияла величина предъявляемых операндов. Правое полушарие более успешно выполняло приблизительные вычисления, чем точные. В процессе выполнения точных вычислений правое полушарие было более успешным при оперировании малыми операндами, а в процессе выполнения приблизительных вычислений – при оперировании большими операндами.

Вероятно, кроме теменных отделов определённую роль в выполнении математических действий играет зона Брока – моторный центр речи. В пользу этого свидетельствуют наблюдения В.С. Рамачандрана (2012), исследовавшего больного с инсультом, произошедшим из-за тромба в средней мозговой артерии, нарушившего поступление крови к левому полушарию мозга. У больного развилась эфферентная моторная афазия, однако он мог совершать в уме простые арифметические действия и хорошо понимал речь. Больной был хорошим математиком, но после инсульта он оказался неспособен решать алгебраические задачи, требующие использования формальных правил искусственного языка. Это подтверждает предположение о том, что при выполнении алгебраических действий необходимо подключение задних лобных отделов, связанных с синтаксической структурой как обычного, так и математического языка.

С. Амодт и С. Вонг (2012) приводят результаты фМРТ-исследований, показавших, что мозговые механизмы, лежащие в основе базовых арифметических способностей, связаны со зрительными функциями. Авторы отмечают, что «перекрытие между командами, управляющими движением глаз, и базовыми арифметическими способностями указывает на то, что некоторые аспекты обработки абстракций в мозге построены на нашей способности к взаимодействию с реальным миром» (там же, с. 349). Однако математические способности взрослого человека не исчерпываются одними лишь арифметическими способностями. При овладении алгеброй человек активно совмещает

вычислительные манипуляции с символическими абстрактными действиями. Возникает множество альтернативных вариантов решения задачи, некоторые из которых предпочитают в большей степени, чем другие, и со временем автоматизируются. Тот факт, что достижение одной и той же цели может осуществляться с помощью различных операций, приводит к формированию неодинаковых картин мозговой активности у людей, использующих разные способы решения математических задач. Это подтверждается результатами следующего исследования. Испытуемым предлагалось решить задачу «Если Кэти зарабатывает 10 долларов в час и получает 12 долларов чаевых в конце 4-часовой смены, то сколько всего денег она получает за смену?» в виде истории и в виде уравнения «Если  $10H + 12 = E$  и  $H = 4$ , то чему равно  $E$ ?». Сканирование мозга показало, что решение задачи в виде истории активирует левую лобную кору, а решение задачи в виде уравнения – области, связанные с мысленным цифровым рядом, в том числе участки теменной коры (предклинье), и некоторые из базальных ганглиев, обычно активирующихся при действиях и движениях в реальной жизни.

Имеются противоречивые данные о преимуществе лиц с относительным доминированием правого или левого полушария в математической деятельности. Ряд исследователей приходят к выводу, что математические способности связаны с функционированием правого полушария (Annett, Kilshow, 1982; Матова, 1987; Лукьянчикова, 2006; Knops, Willmes, 2014).

Например, Ж.А. Лукьянчикова (2006) показала, что среди математически одарённых подростков при наличии всех типов ПЛО, увеличивается число амбидекстров и левшей, т.е. учащихся с преобладанием и большей выраженностью симметричных и левосторонних признаков в типах ПЛО по сравнению с учащимися общеобразовательных школ. Математически одарённые подростки с преобладанием симметричных и левосторонних признаков в ПЛО (амбидекстры с разными сочетаниями сенсорных признаков и левши) обладают наиболее ярко выраженными математическими способностями, что подтверждается высокими учебными баллами, экспертными оценками преподавателей, победами в наиболее престижных олимпиадах, а также высокими показателями интеллекта и объёма запоминания информации. Однако данное исследование было проведено на выборке учащихся физико-математической школы-интерната им. А.Н. Колмогорова специализированного учебно-научного центра МГУ им. М.В. Ломоносова, что позволяет предположить неслучайный подбор испытуемых. Известно, что в специализированных математических школах отмечается накопление детей с личностными особенностями, характерными для дисгармонического типа дизонтогенеза. В.П. Критская, Т.К. Мелешко и Ю.Ф. Поляков (1991) провели

исследование учащихся московской физико-математической школы №2, зачисленных туда в результате экзаменов и собеседований, определяющих их математическую одарённость. Для того чтобы избежать влияния специфики обучения на результаты эксперимента, исследовались учащиеся 7-8 классов, обучающиеся в математической школе только первый год. В исследование было включено 30 учеников, проявивших в течение первых месяцев обучения заметные способности в отношении профилирующих дисциплин. Контрольную группу составили ученики 7-8 классов массовой школы. Эксперимент проводился с помощью таких психологических методик, как сравнение и классификация предметов. В качестве основного критерия для характеристики выявляемых в процессе мышления свойств и отношений предметов была принята частота использования того или иного признака испытуемыми каждой из сравниваемых групп. Сопоставление групп проводилось по коэффициенту стандартности – отношению наиболее часто используемых свойств к общему числу свойств, актуализированных испытуемыми каждой группы. Коэффициент стандартности контрольной группы при сравнении предметов (8 задач) был равен 72%, а для группы математически одарённых школьников – 43,5%, что свидетельствует о значительном снижении частоты использования стандартных, обычных свойств в группе математиков и увеличении частоты использования ими нестандартных, обычно редко используемых признаков предметов. При классификации предметов выявилась та же закономерность: коэффициент стандартности контрольной группы составил 67,6%, а группы математиков – 56,3%. Сопоставляемые группы значительно различались и по разнообразию актуализированных признаков предметов. Математики использовали при сравнении и классификации предметов значительно более широкий круг различных свойств, чем учащиеся массовой школы. Авторы исследования отмечают, что у математически одарённых школьников наблюдаются характерные черты нарушений мышления по шизоидному типу, проявляющиеся в снижении избирательности познавательной активности. Дальнейшее психиатрическое обследование позволило выявить у многих из исследованных детей черты аутизма, характерные для лиц шизоидного склада. Мы полагаем, что и в исследовании Ж.А. Лукьянчиковой (2006) среди математически одарённых испытуемых могли оказаться не просто левши и амбидекстры, а подростки с шизоидными чертами, имеющие патологические формы левшества. Известно, что патологическое левшество является почвой для развития различных форм дизонтогенеза, наличие которых в большинстве случаев (кроме шизоидного расстройства личности) отрицательно сказывается на школьной успеваемости. Результаты ряда исследований свидетельствуют о накоплении левшей и амбидекстров среди «проблемных» школьников (Каримулина,

Зверева, 2003; Семаго, Семаго, 2011). Нормально развивающиеся дети, не имеющие речевых нарушений и характеризующиеся более высокими показателями сформированности познавательных процессов и мелкой моторики, обладают преимущественно правосторонним типом латеральной организации (Литвинова, 2012). Вероятно, дело здесь в неоднородности самого левшества (Москвин, Москвина, 1998). Следует также учитывать, что математическое образование в специализированных математических школах отличается от обучения математике в обычных школах. Соответственно, результаты работы Ж.А. Лукьянчиковой (2006) не могут автоматически переноситься на людей, изучающих математику по стандартной учебной программе.

На наш взгляд, для изучения связи межполушарной асимметрии с математическими способностями необходимо исследовать учащихся обычных школ без явных признаков психической патологии и неврологических заболеваний. Именно тогда удастся избежать влияния побочных переменных, обусловленного неслучайным подбором учащихся в специализированных математических школах. Не исключено, что аутистические черты действительно являются полезным свойством для развития профессиональных математических способностей, однако, как было сказано ранее, этот тип способностей существенно отличается от способностей к изучению математики.

Другие исследователи отмечают ведущую роль левого полушария при выполнении математических заданий (Ashcraft, Yamashita, Aram, 1992; Lampl et al., 1994; Clarke, Deheane, 1996; Rickard et al., 2000). Например, в исследовании В.В. Аршавского (2001) выявлено накопление лиц с левополушарным типом полушарного реагирования (ЭЭГ-характеристика, напрямую не связанная с внешне наблюдаемыми латеральными признаками) среди учащихся старших классов, более успешно осваивающих точные науки (математику, физику, химию), и лиц с правополушарным типом полушарного реагирования среди старшеклассников, успешнее справляющихся с гуманитарными предметами (география, история литература).

Противоречивость результатов во многом можно объяснить тем, что в разных исследованиях межполушарная асимметрия сопоставлялась с разными компонентами математических способностей. Е.В. Фомина (2006, с. 15), указывает на то, что «студенты с выраженным доминированием левого полушария преуспевают в алгебре, а правополушарные демонстрируют успехи в тригонометрии, геометрии и изучении комплексных чисел». Не исключено, что, чем ближе предъявляемая задача к актуализации пространственных представлений, тем больше вероятность того, что при её решении ведущая роль будет принадлежать правому полушарию. Если же при решении задачи необходимо задействовать какой-либо формальный язык, то наибольшая активность будет

характерна для левого полушария. Следует также понимать, что многие геометрические задачи можно решить алгебраическими средствами, не акцентируя внимание на пространственном смысле совершаемых действий. Обучение оперированию числами предполагает овладение набором алгоритмов и стратегий решения. Такой тип нагрузки должен активировать как левое полушарие, использующее последовательную, логическую стратегию мышления, так и правое в связи с необходимостью оценки пространственного соотношения математических величин (Бияшева, Швецова, 1993). В разных системах обучения математике вклад правополушарных и левополушарных компонентов может различаться. На примере изучения Сингапурской системы обучения математике показано, что применение различных педагогических приёмов сопровождается осуществлением разных нейрокогнитивных процессов у учащихся (Lee, Ng, 2011). Мы также отмечали, что для исследования связи межполушарной асимметрии с математическими способностями предпочтительно изучать не результативную сторону математической деятельности, а её операциональный состав (Хохлов, Ковязина, 2013б). Примером применения знаний о межполушарной асимметрии в отечественной нейропедагогике является когнитивно-визуальный подход к обучению математике (Далингер, Симонженков, 2016).

Отдельного рассмотрения заслуживает цикл ЭЭГ-исследований мозгового обеспечения математической деятельности, проведённый А.С. Фоминой (Богун) и Е.К. Айдаркиным с соавторами. В первой работе (Иваницкая, Богун, 2007) исследовались особенности ЭЭГ школьников при интеллектуальной нагрузке различного содержания. Продемонстрирована специфичность мозговой активации при решении арифметических задач по сравнению с различением музыкальных гамм. Счёт чаще всего приводил к сдвигам асимметрии в пользу активации левого полушария. Музыкальная задача, сохраняя в большинстве случаев зональные различия в депрессии  $\alpha$ -ритма, не вызывала выраженной асимметрии. Выполнение арифметических заданий сопровождалось повышением уровня  $\beta$ 2-ритма в теменно-затылочных областях, а также вызывало повышение активации лобных и височных областей. При выполнении задач, несмотря на большую активность левого полушария, также происходит распространение активирующих влияний подкорковых структур на правое полушарие, что связано с необходимостью оценки пространственных соотношений математических величин. Музыкальное воздействие приводит к меньшей активации мозговых структур в целом. Авторы связывают выявленные различия со степенью «алгоритмизированности» деятельности и возможностью участия в ходе решения задач внутренней речи. Во втором исследовании (Айдаркин, Богун, 2009; Aydarkin, Bogun, 2009) подтверждена неодинаковая степень участия полушарий в обработке стимулов разного содержания. Получены данные

в пользу существования в левом полушарии специализированного механизма детекции цифр, активация которого приводит к более эффективному распознаванию вербальных (цифровых) стимулов по сравнению с невербальными. Данный механизм работает продуктивнее, чем механизмы произвольного внимания, эффективность которых в левом полушарии существенно ниже. Правое же полушарие неспецифично к восприятию как цифровых, так и невербальных стимулов за счёт активации одного и того же механизма обнаружения, основанного на механизмах произвольного внимания. В третьей работе (Айдаркин, Богун, Щербина, 2010) показано, что ЭЭГ-реализация умножения в уме обеспечивается высоким уровнем  $\delta$ - и  $\theta$ -активности в лобных зонах коры, усиливающихся с ростом когнитивного напряжения и распространяющихся из передних областей в центральные и теменные, с преимущественной активацией левого полушария. Авторы полагают, что максимальная активация левой лобной области при решении арифметических примеров может быть связана с необходимостью организации сложной вербальной деятельности, опосредованной внутренней речью. Активация зоны Брока связывается со способом хранения цифровых данных в т.ч. посредством вербальных ассоциаций, а значит, требует участия основных речевых центров. Предполагается, что умножение как вербальная задача требует интеграции языковых представлений чисел, поскольку результаты промежуточных действий хранятся в вербальной рабочей памяти. В четвёртом исследовании (Айдаркин, Богун, 2010) изучались нейрофизиологические механизмы процесса решения примеров на умножение и сложение двузначных чисел. Показано, что эти математические действия различаются по своему мозговому обеспечению. При выполнении всех видов заданий начальные этапы решения характеризовались большей активацией левого полушария. Во время выполнения простых задач (на сложение) асимметрия сглаживалась, а во время выполнения сложных (на умножение) – усиливалась. В пятом исследовании (Айдаркин, Фомина, 2011) показано, что при решении арифметических примеров (на сложение и умножение) выделяются три основных фокуса ЭЭГ: в левых лобной, височной, теменной, и правой теменно-височной зонах, выраженность которых зависит от количества выполняемых операций. В шестом исследовании (Айдаркин, Фомина, 2012) получены результаты, указывающие на то, что при решении арифметических примеров в левом полушарии возникает значимо больше когерентных связей, чем в правом, причём данная закономерность в большей степени характерна для сложения, чем для умножения. Результаты данного цикла исследований обобщены в статье Е.К. Айдаркина и А.С. Фоминой (Aydarkin, Fomina, 2013). Можно сделать вывод о том, что левое и правое полушария обеспечивают реализацию различных компонентов арифметической

деятельности при преобладающем значении левополушарных механизмов. Роль совместной активности разных мозговых зон в интеллектуальной деятельности также подтверждается исследованиями феномена пространственной синхронизации корковых биопотенциалов (ПСКБ). Показано (Ливанов, Королькова, Свидерская, 1988), что при выполнении вербально-продуктивной деятельности максимальная вероятность высокой ПСКБ наблюдается в левом полушарии, а при выполнении образно-продуктивной деятельности – в правом.

Таким образом, обсуждая мозговую латерализацию математических способностей, нужно учитывать содержание решаемых задач и сформировавшиеся у человека индивидуальные стратегии решения. Известно также, что у математически одарённых подростков выше эффективность межполушарного взаимодействия в зрительной сфере (Singh, O'Boyle, 2004). Это может указывать на необходимость сопоставления пространственного смысла математической задачи с её репрезентацией в формальных символах в процессе решения. К аналогичным выводам приходит О.М. Разумникова (2004, с. 15): «взаимодействие полушарий, необходимое для выполнения математических операций, осуществляется в широком диапазоне частот, и особенности этой функциональной частотно-пространственной организации корковых областей определяются целым рядом факторов, в том числе сложностью решаемой задачи и индивидуальными стратегиями её выполнения. В зависимости от того, какая стратегия вычисления используется: вербальная или зрительно-пространственная, в ментальные процессы включаются те области коры головного мозга, которые обеспечивают эти функции».

Опираясь на теоретический фундамент отечественной нейропсихологии (Хомская, 2010), мы имеем все основания полагать, что реализация различных компонентов математических способностей связана с ведущей ролью разных гемисфер, а для некоторых компонентов – с эффективностью межполушарного взаимодействия. Это предположение может казаться тривиальным, однако исследования, направленные на его верификацию, могут не только продемонстрировать факт участия обоих полушарий в обеспечении математических способностей, но и выявить математически обоснованный вклад каждого из них в совместное функционирование. В перспективе возможно построение математических моделей, объясняющих, как протекает межполушарное взаимодействие в процессе решения задач различного типа, и какова роль полушарий на каждом этапе выполнения математической деятельности.

## Глава 3

### Роль межмодального взаимодействия в обеспечении математических способностей

#### 3.1. Проблема взаимодействия анализаторов

Обсуждение взаимодействия органов чувств требует введения понятий «модальность» и «анализатор». Модальность означает «принадлежность к определённой сенсорной системе (анализатору)» и используется «для обозначения, характеристики и классификации ощущений, сигналов, стимулов, информации, рецепторов, расстройств» (Большой психологический словарь, 2009, с. 362). Анализатор – «термин, введённый И.П. Павловым, для обозначения целостного нервного механизма, осуществляющего приём и анализ сенсорной информации определённой модальности» (там же, с. 34). Как пишет Т.Г. Визель (2013, с. 18), «над ощущениями, которые обеспечиваются непосредственно анализатором, надстраиваются более сложные виды деятельности. Совокупность видов деятельности, в основе которых лежит тот или иной анализатор, в нейропсихологии принято называть *модальностью*». Термин «анализатор» используется при рассмотрении мозгового уровня организации психических процессов, а термин «модальность» – при обсуждении психологических явлений. Модальность выступает психической репрезентацией функционирования анализаторной системы.

Информация поступает на вход анализатора и по проводящим путям достигает коркового представительства. Уже на этапе проводящих путей имеются переключения, позволяющие неосознанно соотносить сигналы разных модальностей. Модальная специфичность сохраняется в рамках первичных и вторичных зон коры головного мозга. Комплексные же формы переработки информации предполагают объединение работы нескольких анализаторов, происходящее в третичных зонах. А.Р. Лурия (2003, с. 163-164) по этому поводу писал: «Третичные зоны задних отделов мозга располагаются, как уже говорилось, на границе между затылочными, височными и постцентральными областями полушария и составляют зону перекрытия корковых отделов зрительного, слухового, вестибулярного кожно-кинестетического анализаторов. Их центром являются 39-е и 40-е поля Бродмана, или нижнетеменная область; есть, однако, все основания включать в их состав также и прилегающие височно-затылочные образования 37-го и 21-го полей. Все эти поля сохраняют общую для всех рецепторных зон поперечную исчерченность и выраженное шестислойное строение и преимущественно состоят из клеток верхних слоёв коры, имеющих короткие аксоны и осуществляющих главным образом ассоциативные функции; приходящие к ним волокна идут от ассоциативных ядер зрительного бугра и несут информацию, уже обобщённую на низших уровнях. Эти зоны формируются только

у человека и созревают позднее, чем все остальные зоны задних отделов коры, полностью вступая в работу лишь к 7-летнему возрасту. Все это даёт основание предположить, что описываемые нами третичные образования играют особую роль в осуществлении межанализаторных синтезов и что при их участии осуществляется как синтез сигналов внутри одного анализатора, так и перенос структур возбуждения из одного анализатора в другой».

Взаимодействие анализаторов реализуется не только на уровне коры, но также задействует корково-подкорковые системы. Анатомические и физиологические данные (Бойко, 1969; Миловзорова, 1972; Сомьен, 1975; Савельев, Негашева, 2001; Физиология человека..., 2003; Мозг, познание, разум..., 2014) указывают на то, что волокна, идущие от моторной, слуховой и зрительной коры, имеют переключения как на уровне подкорковых структур (таламус), так и на уровне коры (длинные ассоциационные пучки). «Наряду с многосторонними ассоциационными связями третичные поля коры характеризуются и наиболее сложными цепями проекционных переключений в подкорковых отделах анализаторов. Коровые зоны перекрытия устанавливают двусторонние связи с наиболее поздно дифференцирующимся в эволюции комплексом ядер таламуса (подушка зрительного бугра), которые связаны с собственно переключательными ядрами таламуса (реле-ядрами) через сложную цепь внутренних переключений в самом таламусе. Поэтому импульсы, подаваемые снизу к этим территориям коры, проходят наиболее сложную переработку в подкорке и подводятся к коре как интегрированные сигналы, образовавшиеся в результате взаимодействия различных анализаторов» (Естественнонаучные основы психологии, 1978, с. 64). С 2 до 7 лет «созревает гиппокампальная комиссура, которая лежит в основе обеспечения полисенсорной межмодальной интеграции и памяти. Межгиппокампальным структурам принадлежит роль инициатора и стабилизатора взаимоотношения между правым и левым полушариями» (Ковязина, 2012, с. 17). И межанализаторные, и межполушарные координации существуют у ребёнка уже при рождении. Система «длинных» связей обеспечивает процессы дистантной интеграции. Через комиссуральные структуры она соединяет билатерально, симметрично расположенные отделы коры. Также она обеспечивает продольные взаимосвязи структур, расположенных внутри одного полушария (Шеповальников, Цицерошин, Погосян, 1997). У взрослого человека имеется несколько уровней межанализаторного взаимодействия, осуществляемого как внутри одного полушария, так и между полушариями. Межанализаторные мозговые тракты характеризуются латеральными различиями (Catani, de Schotten, 2012).

Распространённой моделью изучения межмодального взаимодействия является синестезия. Синестезия – это «феномен, заключающийся в том, что стимуляция одной сенсорной модальности приводит к возникновению ощущений, характерных для другой сенсорной модальности» (Большой психологический словарь, 2009, с. 613). Р.С. Немов (2015, с. 109) приводит следующие определения синестезии: «1. Одновременное возникновение разных ощущений под влиянием одного и того же стимула. 2. Способность стимула вызывать не только специфическое для него ощущение в органе чувств, который природой создан для его восприятия, но также ощущения в других органах чувств, не приспособленных для восприятия данного стимула. 3. Повышение чувствительности одних органов чувств под влиянием стимулов, воздействующих на другие органы чувств. В этом своём значении термин "синестезия" близок по своему содержанию к понятию "сенсбилизация"». Ф.Е. Василюк так интерпретирует синестезию, развивая представление о чувственной ткани, введённое А.Н. Леонтьевым (1975): «...в чувственной ткани может быть усмотрено несколько парадоксальное свойство: она является чем-то единым, и в то же время вовсе не гомогенным, а достаточно дифференцированным, сгущаясь вблизи полюсов образа и получая здесь сильные, специфические для каждого полюса характеристики. Вдали же от зон сгущения легко предположить наличие интерференции чувственных тканей, идущих от разных полюсов. Конкретный клинический и теоретический анализ этой зоны "интерференции" – особая задача, сейчас же можно только вполне уверенно утверждать, что именно эта зона выполняет функцию синестезии, если под этим термином разуметь не только встречи, наложения и взаимные отображения разных перцептивных модальностей, но и интерференцию ощущений, идущих от разных полюсов образа» (Василюк, 1993, с. 18). Н.И. Чуприкова (2015, с. 291) отмечает, что «чувствительность сенсорных систем изменяется не только в результате адаптации к действующим на них раздражителям, но и под влиянием ощущений со стороны других сенсорных систем». Выделяют «два вида взаимодействия ощущений: взаимодействие ощущений одной модальности и взаимодействие ощущений разных модальностей» (там же). Она пишет, что «особым проявлением взаимных связей между различными сенсорными модальностями являются синестезии – появление при воздействии определённого раздражителя таких ощущений и представлений, которые для него инородны и относятся по своему качеству к другим чувствующим системам. Синестезии имеют несколько форм. Фотизмы – это появление световых и цветовых ощущений при действии звуков; фонизмы – когда световые ощущения сопровождаются слуховыми впечатлениями; вкусовые синестезии – возникновение вкусовых образов при слышании различных звуков» (там же, с. 293). Синестезии посвящено множество обзоров

отечественных и зарубежных авторов (Кузнецова, 2004; Зеленина, 2010; Прокофьева, 2010; Cytowic, 2002; Robertson, Sagiv, 2004; Van Campen, 2007; Hochel, Milán, 2008; Simner, 2012; Ward, 2013; Riccò, de Córdoba Serrano, Day, 2014).

Одним из первых синестезию описал Ф. Гальтон (Galton, 1880, 1881). Он изучал людей, способных выстраивать цифры, наделяемые качествами формы и цвета, в пространственные ряды. Была описана числовая линия – ментальная карта, автоматически появляющаяся, когда человек думает о числах. В настоящее время предполагается, что числовая линия – это результат совместной активации участков в теменной доле, которая отвечает за распознавание чисел и в угловой извилине, которая отвечает за восприятие пространства (Ramachandran, Hubbard, 2001; Hubbard et al., 2005).

В отечественной психологии научные описания межмодальных взаимодействий встречаются уже в работах XIX века. Например, В.Н. Ивановский в статье «Ложные вторичные ощущения» (1893, с. 94) писал, что «в самое последнее время субъективная психология обогатилась новым отделом: оказалось, что у некоторых лиц с разного рода реальными восприятиями сосуществуют чисто субъективные, идеальные ощущения, вернее – идеи». Ссылаясь на описания Ф. Суарец де Мендозы (Suarez de Mendoza, 1891), он перечисляет 5 видов вторичных ощущений: псевдо-фотэстезия (ложные вторичные ощущения зрения), псевдо-акуэстезия (ложные вторичные ощущения слуха), псевдо-осфрэстезия (ложные вторичные ощущения обоняния), псевдо-гузэстезия (ложные вторичные ощущения вкуса), псевдо-апси-эстезия (ложные вторичные ощущения осязания). Кроме этого, В.Н. Ивановский приводит в своей статье достаточно подробную классификацию Э. Грубера (Gruber, 1893), построенную на несколько иных основаниях.

Систематическое изучение взаимодействия анализаторов в СССР было организовано под руководством С.В. Кравкова. Результаты исследований обобщены в книге «Взаимодействие органов чувств» (Кравков, 1948). Как отмечает И.Б. Котова (1982, с. 54-55), «изучение проблемы взаимодействия органов чувств было подготовлено предшествующей работой С.В. Кравкова по психофизиологии зрения. В основу этих исследований была положена идея целостности живого организма, взаимной связи и взаимной обусловленности отдельных его частей. Исходя из этого, С.В. Кравков выдвинул гипотезу, согласно которой целостность организма сказывается и на функционировании органов чувств и потому характер возникающих ощущений и восприятий зависит не только от прямого, сейчас действующего раздражителя, но и от всей совокупности – прочих, непрямых раздражителей. С.В. Кравков стремился обосновать тот факт, что деятельность органов чувств необходимо изучать под углом зрения эволюционного развития их, как приспособления к наилучшему выполнению

познавательных функций, при обязательном понимании органов чувств как анализаторов, у которых периферические, рецепторные и центральные (мозговые) процессы всегда связаны друг с другом». В работах С.В. Кравкова было показано, что на зрительное восприятие может влиять слуховая стимуляция. Выяснилось, что зрительные функции зависят не только от работы каждого глаза, но и от воздействий, идущих в центральную нервную систему от других органов чувств.

А.Р. Лурия выделял две формы взаимодействия органов чувств. «С одной стороны, отдельные ощущения могут *влиять друг на друга*, причём работа одного органа чувств может стимулировать или угнетать работу другого органа чувств. С другой стороны, существуют более глубокие формы взаимодействия, при которых органы чувств *работают вместе*, обуславливая новый, материнский вид чувствительности, который в психологии получил название *синестезии*» (Лурия, 2006, с. 106). Комментируя исследования С.В. Кравкова, он отмечал, что «...влияние одних ощущений на другие ощущения, по-видимому, происходит на уровне верхних отделов ствола и зрительного бугра, где волокна, проводящие возбуждения от различных органов чувств, сближаются и передача возбуждений с одной системы на другую может осуществляться особенно успешно» (там же). Синестезия отличается от такого взаимодействия наличием переноса качеств одной модальности на другую. Явление синестезии особенно отчётливо проявляется у лиц с повышенной возбудимостью подкорковых образований. Существуют и более сложные формы взаимодействия анализаторов. «Известно, что мы почти никогда не воспринимаем осязательные, зрительные и слуховые раздражения изолированно: воспринимая предметы внешнего мира, мы видим их глазом, ощущаем прикосновением, иногда воспринимаем их запах, звучание и т.д. Естественно, что это требует взаимодействия органов чувств (или анализаторов) и обеспечивается их синтетической работой. Эта синтетическая работа органов чувств протекает при ближайшем участии коры головного мозга и прежде всего тех "третичных" зон ("зон перекрытия"), в которых представлены нейроны, относящиеся к разным модальностям» (Лурия, 2006, с. 107). Б.М. Величковский, В.П. Зинченко, А.Р. Лурия (1973, с. 54) указывают на то, что «перцептивные системы формируются под влиянием задач, возникающих в деятельности индивида. Многие перцептивные задачи требуют совместной работы нескольких перцептивных систем, поэтому возможны интермодальные или переходные формы чувствительности, занимающие промежуточное положение между традиционными модальностями».

Б.Г. Ананьев, обсуждая сенсорно-перцептивную организацию человека, отмечал важность учёта единства двух основных нервных механизмов: анализаторов и временных

связей. Условием формирования временных связей (термин И.П. Павлова) является совпадение по времени двух или более событий, значимое для текущего функционального состояния и ситуации. «Благодаря механизму временных связей работа анализатора становится всё более гибкой, изменчивой, тонко отражающей изменяющиеся условия жизни ("колебания" во внешней и внутренней среде). Динамика абсолютной и разностной чувствительности разных модальностей объяснима именно воздействием механизма временных связей на уровень развития и состояния механизма анализаторов. Это же воздействие определяет в значительной мере межанализаторные связи как механизм взаимодействия ощущений разных модальностей» (Ананьев, 1996, с. 60). Неизбежно овладение переводом образов из одной модальности в другую в период детства: «...усвоение ребёнком словарного состава языка происходит путём ассоциирования слухового образа слова со зрительным, обозначаемого этим словом предмета. Предметная отнесённость слова для ребёнка – первая реальность речи – есть вместе с тем зрительное включение в ассоциативные массы обозначенных словом образов вещей» (там же, с. 133-134). Эти рассуждения во многом перекликаются с единой теорией психических процессов Л.М. Веккера, уделявшего ключевое внимание пространственно-временной структуре. Л.М. Веккер считает, что мышление не является безмодальным, а напротив, полимодальным и интермодальным. «Мысль, выходя за пределы "вырезаемых" соответствующей модальностью участков спектров, "ходит" по всему диапазону каждого из этих спектров, может переходить из одного спектра в другой (например, из оптического в акустический), тем самым раздвигая их границы в пределе до бесконечности» (Веккер, 2000, с. 201-202).

Т.Н. Березина указывает на то, что «поскольку психические образы полимодальны, то слова как первосигнальные стимулы могут входить в образ не только в виде синестезии, но и просто как звуки» (Березина, 2012, с. 80). Автор предлагает выделять 5 уровней обработки наглядной информации. «На каждом уровне формируются соответствующие образы-интеграторы. Образы первого порядка – эйдетические образы, в них воспроизводится изображение окружающего мира с фотографической точностью. Образы второго порядка – классические вторичные образы, образы конкретных предметов, детали образа могут меняться при визуализации. Образы третьего порядка – образы обобщённых предметов (имаген "животное"), визуализируются в виде контура. Образы четвертого порядка – образы высшего уровня обобщения предметов (имаген "вещь"), являются пространственными образованиями, при попытке их визуализации происходит мысленное выделение части внутреннего пространства. Образы пятого порядка – невербальные эталоны моральных, философских, математических обобщений.

Поскольку психические образы полимодальны, то слова как первосигнальные стимулы могут входить в образ не только в виде синестезии, но и просто как звуки» (там же, с. 82-83).

Взаимодействию органов чувств уделяется внимание и в коррекционной работе с детьми. «Сенсорная интеграция – это взаимодействие всех органов чувств. Она начинается очень рано, уже в утробе матери. Взаимодействие всех органов чувств подразумевает упорядочивание ощущений и раздражителей таким образом, чтобы человек мог адекватно реагировать на определённые стимулы и действовать в соответствии с ситуацией» (Кислинг, 2011, с. 15). Идея коррекционной работы, основанной на интеграции органов чувств, была предложена Э.Дж. Айрес (Ayres, 1979). Особенностью данного подхода является разделение видов чувствительности на контактные (вестибулярная, тактильная и проприоцептивная системы) и дистантные (слуховая, обонятельная и зрительная системы).

Многое остаётся неясным в отношении мозговых механизмов синестезии. Не вызывает сомнений, что в реализации синестезии задействованы области мозга, отвечающие за восприятие стимулов соответствующих модальностей. Однако дальше возникают существенные разночтения, связанные как с неодинаковым пониманием того, что такое синестезия, так и с использованием различных методов нейровизуализации. Кроме того, большинство исследований влияния синестезии на решение задач представляют собой анализы индивидуальных случаев, а выявление общих закономерностей затруднено из-за индивидуальных различий между синестетами. Обзор фМРТ-исследований (Rouw, Scholte, Colizoli, 2011) позволяет выделить 6 мозговых зон в теменной и лобной коре, которые активируются при синестезии. Предполагается, что эти зоны связаны с реализацией трёх познавательных процессов: сенсорного, связывания отдельных свойств посредством внимания и познавательного контроля. При разных видах синестезии отмечается преимущественная активация разных отделов мозга. Например, при графемно-цветовой синестезии межмодальное взаимодействие может происходить на низшем или высшем уровне обработки информации. В первом случае ведущую роль играет веретенообразная извилина, во втором – угловая извилина (Ramachandran, Hubbard, 2001). Ещё одним участком мозга, принимающим участие в межмодальном взаимодействии, является энторинальная кора, находящаяся в височной доле и выступающая посредником между гиппокампальной формацией и новой корой. Энторинальная кора связывает сигналы, поступающие по зрительному и слуховому каналам. Выделяют латеральную и медиальную части энторинальной коры, различающиеся по клеточному составу и структуре связей (Witter et al., 2000). Медиальная

часть энторинальной коры играет важную роль в обеспечении пространственной ориентации и запоминании пространственного расположения (Suzuki, Miller, Desimone, 1997; Fyhn et al., 2004; Zhang et al., 2014). Имеются сведения об участии медиальных отделов височной доли (энторинальной и перирхинальной коры) в реализации функции восприятия (Graham, Gaffan, 2005; Suzuki, 2009; Baxter, 2009; Suzuki, Baxter, 2009).

Получены многочисленные свидетельства взаимодействия анализаторов в различных ситуациях. Описываются связи между зрительной и тактильной (Amedi et al., 2010; Simner, Ludwig, 2012), тактильной и слуховой (Yau et al., 2009), слуховой и зрительной (Doehrmann, Naumer, 2008) модальностями. По мнению Ч. Спенса (Spence, 2011), взаимодействия существуют между всеми возможными парами модальностей, поскольку являются выгодным эволюционным приспособлением. В исследованиях П. Бах-и-Риты (Bach-y-Rita et al., 1969), обучавшего добровольцев переводить тактильные ощущения в зрительные образы, продемонстрировано наличие мозговых механизмов, посредством которых информация, традиционно воспринимаемая с помощью одного чувства, преобразуется и воспринимается с помощью другого чувства. Известно также, что слепые люди могут научиться ориентироваться в пространстве с помощью эхолокации, щёлкая языком или топая ногами и используя эхо для восприятия окружающих объектов. Когда слепой использует эхолокацию, звуковая информация обрабатывается не в слуховых, а в зрительных областях мозга (Striem-Amit, Amedi, 2014). В исследованиях Е.А. Лупенко (2008, 2010) показано, что сопоставление объектов разной модальности происходит на основе амодальных характеристик, носящих неспецифический характер и имеющих эмоциональную основу. В работе М.С. Ковязиной и К.А. Фоминой (2016) предложен метод исследования межмодального взаимодействия при помощи анализа эффективности переноса фиксированной установки (по Д.Н. Узнадзе); продемонстрирован перенос фиксированной установки с гаптической сферы на зрительную (Фомина, Ковязина, 2017).

Как отмечает Е.В. Москаленко (2014, с. 31), «за последнее десятилетие интерес к поиску нейрофизиологической базы кроссмодальной обработки информации значительно возрос, и появилось большое количество различных методологических подходов к данной проблеме. Исследователи этой области используют большое количество различных терминов для описания наблюдаемых феноменов: полимодальный, метамодальный, мультимодальный, интермодальный, мультисенсорный, кроссмодальный, бимодальный и др. В большинстве исследований данные термины используются как синонимы, однако некоторые авторы склонны их различать». Например, Дж. Калверт (Calvert, 2001) предлагает различать уровни описания кроссмодальных взаимодействий и использовать

для каждого уровня свой термин. Термины «одноmodalный» / «кроссmodalный» (межmodalный) предлагается использовать для описания задач, решаемых на поведенческом уровне, в которых требуется участие одного или нескольких органов чувств соответственно. Термин «гетеромodalный» рекомендуется использовать для обозначения нейроанатомических областей, которые принимают участие в интеграции информации, поступающей от разных анализаторов. Термины «сенсорноспецифичный» / «мультисенсорный» следует употреблять при описании кроссmodalных взаимодействий на уровне активности нейронов. Также термин «мультисенсорная интеграция» используется для описания ситуаций, в которых некоторые, обычно рядом расположенные, разноmodalные стимулы объединяются (Spence, Senkowski, 2009). Ч. Спенс (Spence, 2011) выделяет три механизма кроссmodalных взаимодействий – статистическое, структурное и семантическое опосредование. Благодаря статистическому опосредованию кроссmodalное взаимодействие обуславливается частотой совместной встречаемости проявлений разных modalностей в естественной среде. Структурная опосредованность кроссmodalного взаимодействия обеспечивается организацией перцептивной системы – мозг может использовать одинаковые механизмы для обработки информации разных modalностей. Семантическая опосредованность связывает разноmodalные стимулы, имеющие одинаковое значение.

В современной нейropsychологии отсутствует общепринятая методология исследований межmodalного взаимодействия. Хотя накоплено множество отдельных фактов, свидетельствующих о необходимости учёта межmodalного взаимодействия в нейropsychологических исследованиях, до сих пор не было предложено единого, систематически разрабатываемого, подхода к его изучению. В данной работе мы используем термин «межmodalное взаимодействие», понимая под ним прежде всего способность к перешифровке информации (сигналов, стимулов), поступающей на вход одного анализатора, в информацию, поступающую на вход другого анализатора. Предполагается, что за этими перешифровками стоит усвоенный в опыте набор полиmodalных предметных значений, выступающий своеобразным шаблоном для полиmodalного означения новых, ранее не встречавшихся, стимулов. Кроме этого, мы рассматриваем статистическое взаимодействие латеральных признаков, отражающих функциональную межполушарную асимметрию разных анализаторов. На межmodalное взаимодействие указывает отличающаяся от случайной частота встречаемости определённых сочетаний асимметрий разных анализаторов и наличие связи этих сочетаний с психологическими характеристиками. При этом мы считаем, что это лишь

одни из возможных проявлений взаимодействия анализаторов, в целом происходящего на разных уровнях и в разных условиях.

Таким образом, межанализаторное взаимодействие является повсеместным и не исчерпывается лишь феноменом синестезии. Синестезия в той или иной мере характерна для 0,05-4% населения (процентные оценки существенно варьируют в зависимости от позиции исследователя). Некоторые люди, чьё восприятие может рассматриваться как синестетическое, не считают себя синестетами, и потому часто не учитываются в исследованиях. Однако даже при отсутствии синестезии у всех людей имеет место межмодальное взаимодействие, без которого невозможно целостное восприятие окружающего мира. Если синестезия имеет отношение к сфере ощущений и является относительно редким явлением, то межмодальное взаимодействие в целом характеризует восприятие как познавательный процесс. Системная психическая деятельность человека на мозговом уровне осуществляется путём непрерывного межанализаторного взаимодействия, обладающего своими закономерностями, которые невозможно свести к сумме закономерностей изолированного функционирования отдельных анализаторов. Мы полагаем, что межмодальное взаимодействие выступает необходимым условием развития всех познавательных процессов и является одним из механизмов реализации мыслительной деятельности. Оно позволяет человеку воспринимать мир во всём многообразии его проявлений. В реальной жизни человек не разделяет воспринимаемую информацию на слуховую, зрительную, тактильную и др. При этом в большинстве научных работ процессы переработки информации, представленной в разных модальностях, изучаются изолированно друг от друга, что снижает экологическую валидность получаемых результатов.

### **3.2. Межмодальное взаимодействие как фактор выраженности математических способностей**

Связь межмодального взаимодействия с познавательной деятельностью позволяет предполагать, что и в математической деятельности оно играет не последнюю роль. Н.В. Дубровинская, Д.А. Фарбер, М.М. Безруких (2000, с. 53) отмечают, что «решение арифметических задач сопровождается формированием функциональных объединений лобных областей с височными отделами левого полушария и теменными правого, что связано с активизацией речевой памяти (левая височная область) и пространственных синтезов при операциях с цифрами (правая теменная зона)». Клинические данные свидетельствуют о том, что при выполнении вычислений задействуются мозговые механизмы, связанные с разными анализаторными системами. «Разнообразие

клинических проявлений акалькулии при патологии головного мозга определяется прежде всего сложностью нейрофизиологических механизмов обработки количественной информации и осуществления вычислений. Даже способов репрезентации числовой информации известно несколько. Числа могут быть выражены в виде цифр или слов, в устной и письменной форме, а операции с числами включают как их узнавание и непосредственное представление количества, так и осуществление вычислений» (Григорьева, Ковязина, Тхостов, 2013, с. 211). При отсутствии специфических расстройств успешность способов представления и обработки числовой информации также различается, хотя и не выходит за пределы нормативных значений. Эффективность определённых межмодальных перешифровок может выступать благоприятным условием, позволяющим человеку работать с абстрактной информацией, опираясь на разные анализаторные системы. Некоторые из этих перешифровок могут быть специфичны в отношении математических способностей.

На наш взгляд (Хохлов, 2015д), нейropsychологическое исследование математических способностей должно отличаться от клинического исследования нарушения процесса решения математических задач. Хотя наиболее общие закономерности могут быть перенесены с клинических моделей, изучение специфики математической деятельности в реальной жизни здоровых людей требует применения иных методов исследования. При поражении мозга организм борется за выживание и потому выстраивает компенсаторные стратегии выполнения познавательной деятельности, позволяющие справиться с возникшим дефектом. Нарушается не только активность определённых мозговых участков, но и функционирование связей между ними. Начинают задействоваться проводящие пути, которые до поражения выполняли другие задачи. Здоровый же человек обычно ориентирован на развитие и наращивание своих возможностей, а это требует работы иных функциональных систем. В отличие от локальных поражений мозга здесь не происходит резкого выпадения звеньев функциональных систем, а также не возникает необходимости экстренно задействовать другие звенья для выживания. Поэтому для исследования мозговых механизмов математических способностей в норме только клинических данных недостаточно. Требуются исследования функционирования здорового мозга в процессе выполнения математической деятельности.

Оперирование пространственными представлениями, лежащими в основе математической деятельности, имеет непосредственное отношение к взаимодействию анализаторов. Ю.В. Микадзе и А.А. Скворцов (2007, с. 105-106) отмечают, что в основных работах А.Р. Лурии «...выделяется лишь один фактор, а именно фактор нарушения

синтеза отдельных раздражителей в симультанные структуры или группы, который впоследствии был назван *пространственным*». По мнению А.М. Леушиной (1974, с. 27), «в основе познания маленькими детьми качественных и количественных признаков предметов и явлений лежат сенсорные процессы». На разных этапах развития ведущую роль играют разные анализаторы, но при этом постоянно происходит межанализаторное взаимодействие. «Ребёнок окружен различными множествами, выраженными не только предметами, но и звуками, движениями и т.д. Эти множества ребёнок воспринимает различными анализаторами: зрительным, слуховым, осязательным, кинестетическим и др.» (там же, с. 74). Поступление согласованной информации по различным каналам позволяет формировать более точные представления о количестве. «Если зрительный анализатор способствует синтезированию отдельных элементов в единое структурно-замкнутое целое, то слуховой, двигательный и речедвигательный анализаторы способствуют вычленению отдельных элементов внутри этого целого. Такое взаимодействие анализаторов является весьма важным для развития восприятия множества в целом и образующих его элементов. Отсюда следует педагогический вывод о необходимости использовать при формировании у детей счётной деятельности и представления о множестве все анализаторы. Между множествами, воспринимаемыми разными анализаторами, устанавливается взаимно-однозначное соответствие» (там же, с. 79). Важно, что «в формировании пространственных представлений и способов ориентации в пространстве участвуют различные анализаторы (кинестетический, осязательный, зрительный, слуховой, обонятельный)» (там же, с. 113). Развитие пространственных представлений может быть способом развития математических способностей (Соболева, Печак, 2010; Соболева, 2014; Киселева, 2016; Дмитриева, 2017). Показано, что занятия оригами позволяют корректировать трудности в работе с числовым материалом у детей (Krisztián et al., 2015).

Ярким примером совместного использования зрительно-пространственного восприятия и арифметических действий является определение времени по часам со стрелками. При первичном овладении этим умением дети должны каждый раз определять положение минутной стрелки с учётом числового обозначения и затем производить умножение на 5. Позднее, при возникновении автоматизированного навыка, осознанного умножения уже не происходит. Развёрнутое поэлементное действие заменяется свёрнутым действием, имплицитно содержащим в себе как пространственный, так и математический компонент. Интересно, что даже среди взрослых людей наблюдаются выраженные индивидуальные различия в эффективности определения времени по часам. Показано (Балашова, Ковязина, 2006), что здоровые люди обычно правильно определяют

время по часам с обычным циферблатом. Однако лишь 54% испытуемых могут правильно определить время по часам без цифр. Этот факт позволяет предположить, что почти у половины взрослых людей необходимым компонентом определения времени по часам остаётся математическая операция, возможная лишь при непосредственном восприятии чисел.

Ценные сведения о связи математических и пространственных представлений при реализации межмодального взаимодействия даёт изучение синестезии. Хотя синестезия рассматривается как нечто выходящее за рамки нормы, существуют универсальные механизмы межмодального взаимодействия, характерные как для синестетов, так и для обычных людей (Sagiv, Ward, 2006). По-видимому, пространственно-числовое взаимодействие является одним из таких механизмов. Пространственная синестезия позволяет расставлять на определённых местах представляемого пространства цифры, буквы, дни недели и другие последовательные серии. У обычных людей такая способность в некоторой степени также существует и может быть заметно развита в процессе тренировок (Foer, 2012). Предполагается, что за эту способность отвечают теменные отделы мозга, однако в случае синестезии эффект достигается их близостью с височными отделами, задействованными в кодировании последовательностей (Eagleman, 2009). При исследовании испытуемого, имевшего возможность представлять математические формулы и объекты в виде геометрических фигур, было обнаружено, что работа с формулами, вызывающими синестезию, сопровождается активацией височных, теменных и передних отделов мозга в левом полушарии (Brogaard, Vanni, Silvanto, 2013). При графемно-цветовой синестезии возникают цветовые или фактурные ассоциации (фотизмы) на буквы, цифры и слова. В тех случаях, когда цифры вызывают цветовые ощущения, люди эффективнее выполняют познавательные и математические задания, если фактический цвет цифр совпадает с вызываемым в процессе синестезии (Cohen Kadosh, Henik, 2008; Green, Goswami, 2008; Mills et al., 2009; Ghirardelli et al., 2010). Чаще всего указывают на возникновение цветовых ассоциаций в ответ на предъявление цифр, однако возможно и обратное – возникновение числовых представлений в ответ на предъявление цветов (McCarthy et al., 2013). Получены данные в пользу того, что несимволические обозначения количества также могут вызывать синестезию (Gertner, Arend, Henik, 2013). В работе Дж. Хейл с соавторами (Hale et al., 2014) обсуждаются преимущества синестезии для времени, чисел и пространства в реализации когнитивных процессов. Показано, что люди с этим видом синестезии оказываются значительно успешнее, чем люди без синестезии, при вынесении порядковых суждений в отношении пространства с опорой на зрительно-пространственную рабочую память.

Известно, что совпадение пространственного расположения стимула и реакции приводит к уменьшению времени ответа, даже если местоположение не является условием задачи (Simon, Wolf, 1963). При пространственно-числовой синестезии подобный эффект обнаруживается даже в том случае, если число не является существенным свойством задачи (Arend, Gertner, Henik, 2013). Имеется врождённая склонность реагировать в сторону источника раздражения. При этом на меньшие числа люди быстрее реагируют слева, а на большие – справа, что отражает автоматическое объединение местоположения руки и семантической величины модально-независимого числа (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993). Дети с низкими зрительно-пространственными способностями также демонстрируют эти классические эффекты, однако сильнее отклоняются от верных позиций при выполнении пространственно-числовых заданий (Crollen, Noël, 2015). Имеются убедительные сведения в пользу наличия связи способности к мысленному пространственному вращению с базовыми числовыми представлениями (Thompson et al., 2013). Есть основания полагать, что участие пространственных представлений в работе с математической информацией затрагивает не только отдельные числа, но и арифметические операции в целом (Fischer, Shaki, 2014). Взаимодействие между числами и пространственными представлениями было исследовано с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области. Обнаружены гемодинамические корреляты этого взаимодействия во внутритеменной борозде обоих полушарий и угловой извилине левого полушария (Cutini et al., 2014).

Хотя нейробиологические исследования, проведённые с помощью различных методов нейровизуализации, выявляют схожие области мозга, задействованные в реализации межмодального взаимодействия, пространственных функций и математической деятельности, следует с осторожностью подходить к интерпретации получаемых результатов с позиции узкого локализационизма. Преимущественная активация определённой области мозга далеко не всегда указывает на её ведущую роль в обеспечении изучаемой функции. Если деятельность является автоматизированной, а соответствующие функции давно сформированы, уровень метаболизма в обеспечивающих эту деятельность участках мозга, может не отличаться от фонового. Кроме этого, существует большая вариативность в операциональном составе математической деятельности, так что в разных ситуациях в работу могут включаться разные нейрональные контуры.

Интуитивное восприятие количества (субитация, субитизация) обнаруживается уже в младенческом возрасте. Дети, у которых эта способность в шестимесячном возрасте развита сильнее, впоследствии успешнее овладевают арифметическими навыками (Starr,

Libertus, Brannon, 2013). Младенцы способны сравнивать числовую информацию, поступающую в разных модальностях, используя хранящиеся в памяти представления (Feigenson, 2011). Хотя способность определять общее количество элементов в наборе является эволюционно базовой, нельзя с уверенностью утверждать, что именно она становится основой осваиваемой в дальнейшем символической математики (Lyons, Ansari, 2015). Многие животные умеют усматривать количество без пересчёта, и эта способность обеспечивается работой теменных участков мозга. Показано, что и у людей, и у макаков способность к оценке числа элементов в звуковой последовательности обеспечивается внутритеменной областью и дорсальной премоторной корой (Wang et al., 2015). В лонгитюдном исследовании, проведённом с использованием структурной и функциональной МРТ (Evans et al., 2015), показано, что объём серого вещества в нижней части височно-затылочной коры, задней теменной коре и префронтальной коре, а также эффективность взаимосвязи между этими участками мозга у детей 8 лет являются параметрами, позволяющими предсказать уровень их математических способностей спустя 6 лет. Предсказательная способность этих параметров выше, чем у результатов психолого-педагогических тестов. Между тем следует учитывать, что у человека в процессе обучения происходит введение символов для обозначения количества, что приводит к перестройке архаических систем (Piazza, Izard, 2009). Школьное обучение способствует нарастанию роли символической математики, причём траектории развития несимволических и символических математических способностей не совпадают (Matejko, Ansari, 2016). Обнаружено, что у детей большую роль при решении математических задач играет гиппокамп, причём значение имеет как его размер, так и число связей с другими областями мозга. У взрослых же людей функционирование гиппокампа практически не связано с эффективностью математической деятельности (Supekar et al., 2013). Предпринимаются попытки создать математическую модель, объясняющую взаимодействие пространственных и категориальных (языковых) процессов в мозге при реализации разрядных представлений о числе и сравнении многозначных чисел (Grossberg, Repin, 2003). Математическое понятие также рассматривается как координация разного рода схем действий со знаково-символическими моделями, как пространственными, так и словесными и алгебраическими (Шварц, 2011). Есть основания полагать, что исходно несимволическая и символическая системы математических представлений относительно независимы, однако в процессе обучения символическая математика опосредствует и подчиняет себе несимволическую. Для освоения продвинутой математики важны пространственные и языковые способности, а способность к элементарным вычислениям не играет существенной роли (Wei et al., 2012).

При этом у профессиональных математиков в процессе выполнения математической деятельности активируются те же зоны мозга, которые у непрофессиональных математиков обеспечивают связанные с числами пространственные представления (Amalric, Dehaene, 2016). Предполагается, что возможность оперировать этими представлениями продолжает играть важную роль в реализации математической деятельности и у профессиональных математиков, владеющих символической математикой.

Нейропсихологический анализ решения задач, проведённый А.Р. Лурией и Л.С. Цветковой, показывает, что «различные отделы коры головного мозга, совместная работа которых осуществляет сложную психическую деятельность, имеют свои строго специализированные функции и каждый из этих отделов вносит в построение этой сложной деятельности свой специфический вклад» (Лурия, Цветкова, 2010, с. 322-323). Ведущую (но не единственную) роль в решении задач играют теменно-затылочные и лобные отделы мозга. По-видимому, третичные поля коры, представляющие собой зоны перекрытия анализаторов, позволяют оперировать полимодальными объектами при выполнении мыслительных операций. «Координируя центральные отделы зрительного, кинестетического и вестибулярного анализаторов, затылочно-теменные отделы коры играют существенную роль в объединении поступающей информации в симультанные пространственные группы, сопоставляя отдельные сигналы и организуя их в целые пространственно ориентированные структуры» (там же, с. 38). При поражении теменно-затылочных отделов «распадается возможность объединять элементы последовательно поступающей информации в симультанно обозримые схемы» (там же, с. 323). На наш взгляд, пространственная локализация является основой объединения информации, поступающих от разных органов чувств. Более того, само по себе «пространство» – это схема внешнего мира, основанная на согласованном поступлении различных видов сигналов.

Мы считаем, что решение математических задач всегда сопровождается межмодальным взаимодействием, протекающим большей частью неосознанно. Одни условия задачи могут эффективнее обрабатываться в одной модальности, другие – в другой. Соответственно, если условия задачи были восприняты в одной модальности, а затем перекодированы и обработаны в другой, это может приводить как к повышению, так и к снижению эффективности решения. Если в исходной модальности задача решалась эффективнее, то перевод условий задачи в другую модальность приводит к снижению эффективности решения, если же исходная модальность плохо подходила для

оперирования полученной информацией, то перевод в другую модальность, в которой задача решается быстрее и проще, приводит к повышению эффективности решения.

Хорошо известно описание процесса решения задач С.В. Шерешевским, обладавшим феноменальной памятью, основанной на спонтанных синестетических ассоциациях. Работавший с ним А.Р. Лурия (1996, с. 64) отмечал явные преимущества наглядного мышления: «Нетрудно видеть, как быстро и легко выполняется умозрительное решение задачи там, где решение её вербально-логическим путём должно вызывать дополнительные отвлечённые расчёты». Визуальное мышление активно использовалось в античной и средневековой математике. Например, для математических текстов средневековой Индии (возможно, они восходят к более древним временам) были характерны наглядные способы доказывания геометрических утверждений. Читателям предлагался чертёж, под которым было написано всего одно слово: «Смотри!» (Успенский, 2011). М. Вертгеймер (1987) также возражал против формально-логического описания и анализа решения задачи как последовательности логических операций. Рассуждая в русле методологии гештальтпсихологии, он рассматривал внутренние связи и отношения между элементами задачи с использованием понятий «структура», «организация» и «целое». М. Вертгеймер отмечал особую роль создания интегрального, целостного образа ситуации на стадии осознания проблемы и визуализации проблемной ситуации на стадии работы над решением проблемы. Заметим, что гештальтпсихологи с самого начала отрицали возможность возникновения восприятия из отдельных ощущений. М. Вертгеймер опирался на работы К. фон Эренфельса, который ввёл понятие «гештальт-качества», т.е. качества категориальности любого восприятия, не сводимого к сумме полученных ощущений. «Эренфельс называл это законом транспозиции (переноса) – объекты воспринимаются нами как относящиеся к одной категории, несмотря на то, что конкретное сенсорное содержание образа может быть весьма различно благодаря гештальт-качеству, которое входит в восприятие со стороны субъекта» (Нуркова, Березанская, 2013, с. 87). Очевидно, что гештальт-качество полимодально, а категориальность восприятия не зависит от того, в какой модальности было получено исходное ощущение. Между тем эффективность обработки информации в процессе решения мыслительной задачи всё же зависит от того, насколько используемая модальность позволяет структурировать условия задачи. В связи с этим интересна идея М. Чангизи, предложившего использовать особенности человеческого восприятия для совершения вычислительных операций. «В отличие от мышления, когда мы "перемалываем" идеи одну за другой, зрение не требует усилий. Более того, множество очень сложных зрительных стимулов может обрабатываться одновременно: одна

увиденная нами картина – это тысячи входных сигналов» (Чангизи, 2015, с. 282). В качестве примера была предложена «зрительная микросхема», позволяющая использовать зрительную систему для вычисления функции строгой дизъюнкции. Зрительные стимулы могут быть восприняты двумя чётко различимыми способами (повёрнутыми в одну или другую сторону). В любой точке схемы значение сигнала зависит от значений входных сигналов. Следование взглядом по микросхеме позволяет вычислять итоговый результат, не задумываясь над значениями булевых функций. Скорость такого решения в разы выше традиционного способа, поскольку зрительная система производит вычисления без явных усилий и автоматически выдаёт содержащее ответ восприятие.

Результаты рассмотренных исследований позволяют говорить о том, что межмодальное взаимодействие играет существенную роль в организации математических способностей. Синтетическая работа органов чувств на ранних этапах развития позволяет формировать пространственные представления, которые являются эволюционной основой несимволической математики. На мозговом уровне данный процесс преимущественно обеспечивается работой теменных отделов и третичных зон коры, находящихся на стыке корковых отделов анализаторов. Определённую роль также играют височные отделы, находящиеся на стыке с парагиппокампальной областью. В дальнейшем при освоении школьной математики структура математических способностей меняется, на первый план выходит вербально-символическое кодирование количественных представлений. Перестройка функциональных систем сопровождается возрастающей ролью межполушарного взаимодействия. Мы полагаем, что способность к перешифровке информации из одной модальности в другую не только является предпосылкой развития математических способностей, но и после освоения школьной математики оказывает влияние на эффективность выполнения математической деятельности. Для целого ряда задач унимодальный процесс решения с использованием только вербально-символического кодирования оказывается неоптимальным, а перевод условий задачи из одной модальности в другую способствует возрастанию эффективности решения.

Материалы данной главы частично представлены в нашей статье (Хохлов, Ковязина, 2016в).

## Глава 4

### Предварительные исследования

#### 4.1. Методические проблемы исследования функциональной межполушарной асимметрии в нейропсихологии индивидуальных различий

Данное исследование (Хохлов, Ковязина, 2012а, 2012б; Khokhlov, Kovyazina, 2013) было проведено для проверки правомерности использования схемы определения ПЛО, предложенной Е.Д. Хомской и И.В. Ефимовой (1989, 1991). Мы задались целью показать, что тесты и пробы, используемые для диагностики функциональной асимметрии, зачастую дают несогласованные результаты, что ограничивает возможность суммирования их балльных оценок. Вместе с этим был предложен новый метод интегральной оценки межполушарной асимметрии, базирующийся на использовании математически обоснованных весовых коэффициентов тестов и проб. Первоначально (Хохлов, Ковязина, 2012б) в исследовании были задействованы 88 человек, затем (Khokhlov, Kovyazina, 2013) выборка была расширена до 116 испытуемых в возрасте от 16 до 23 лет, из них 37 мужчин и 79 женщин. Далее обсуждаются результаты исследования, проведённого на большей выборке.

Испытуемые выполняли следующие методики: самоотчёт о мануальной асимметрии, сенсibilизированный опросник для определения руки для подростков и взрослых (Чуприков, 1985), пробы на мануальную асимметрию – «Поза Наполеона» (здесь и далее в наших исследованиях по локтю), «Аплодирование», «Переплетение пальцев рук», пробы на зрительную асимметрию – «Прицеливание» и проба Розенбаха (Лурия, 1962), дихотическое прослушивание (Котик, 1974) для оценки слухоречевой асимметрии (20 испытуемых его не проходили). В целях получения сопоставимых коэффициентов корреляции между результатами выполнения разных методик результаты опросника А.П. Чуприкова и дихотического прослушивания были переведены из сырых баллов в категориальную шкалу «правша-амбидекстр-левша» согласно следующим принятым правилам. Для опросника А.П. Чуприкова: от 24 до 8 баллов – правша, от 8 до -8 баллов – амбидекстр, от -8 до -24 баллов – левша. Для дихотического прослушивания: коэффициент правого уха (КПУ) больше 4 – правша, от 4 до -4 – амбидекстр, меньше -4 – левша. В Таблице 1 приводятся значения V-коэффициента Крамера, отражающие связь между категориальными переменными.

Таблица 1. Корреляции между результатами выполнения методик на межполушарную асимметрию

| Методика                          | 2       | 3     | 4     | 5       | 6      | 7      | 8      |
|-----------------------------------|---------|-------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Самоотчёт (1)                     | 0,707** | 0,08  | 0,116 | -0,273* | -0,157 | 0,110  | 0,186  |
| Опросник<br>А.П. Чуприкова (2)    | –       | 0,053 | 0,194 | -0,227* | -0,121 | -0,118 | 0,21   |
| Поза Наполеона (3)                |         | –     | 0,201 | 0,094   | -0,202 | -0,191 | 0,195  |
| Аплодирование (4)                 |         |       | –     | -0,111  | -0,140 | 0,133  | -0,084 |
| Переплетение<br>пальцев рук (5)   |         |       |       | –       | -0,097 | -0,084 | 0,213  |
| Прицеливание (6)                  |         |       |       |         | –      | 0,114  | -0,071 |
| Проба Розенбаха (7)               |         |       |       |         |        | –      | 0,297* |
| Дихотическое<br>прослушивание (8) |         |       |       |         |        |        | –      |

\*  $p < 0,05$     \*\*  $p < 0,001$

Как видно из таблицы, значимые корреляции были получены только между самоотчётом, опросником А.П. Чуприкова и пробой «Переплетение пальцев рук», а также между результатами пробы Розенбаха и дихотическим прослушиванием. Обращает на себя внимание тот факт, что проба «Переплетение пальцев рук» коррелирует с другими мануальными тестами отрицательно. Это свидетельствует о том, что при переплетении пальцев сверху оказывается палец неведущей руки.

Не наблюдается ожидаемой связи между зрительными пробами «Прицеливание» и «Проба Розенбаха», что, на наш взгляд, вызвано сопутствующим смещением переменных при выполнении пробы «Прицеливание». Эта проба может давать неверные результаты при нередко встречающейся дисфункции вековой части круговой мышцы глаза, иннервируемой с помощью моторной части лицевого нерва. В этом случае испытуемый не может (или может, но с большим усилием) закрыть один глаз, не закрывая другой, по причине патологии черепно-мозговых нервов, а не из-за особенностей функциональной асимметрии мозга. Отделить одну причину от другой без специального неврологического обследования невозможно. Впрочем, в более поздних исследованиях мы обнаружили, что проба Розенбаха и проба «Прицеливание» дают согласованные результаты ( $\phi = 0,703$ ,  $p < 0,001$ ;  $\chi^2 = 15,749$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 38$ , 87% совпадения) при применении двух градаций оценки («право» и «лево»). По-видимому, введение третьей градации («билатерально») провоцирует большее влияние субъективности исследователя, которому не всегда просто принять решение, является ли конкретное выполнение пробы билатеральным или асимметричным.

Наличие связи между результатами зрительной пробы Розенбаха и результатами дихотического прослушивания, предназначенного для определения слухоречевой асимметрии, может указывать на существование межмодального комплекса, имеющего свою функциональную латерализацию. Таким образом, исследование показало, что пробы, концептуально предназначенные для оценки одного типа асимметрии, в большинстве случаев не дают согласованных результатов, что может указывать на независимость их диагностических значений. Это обстоятельство ставит под вопрос корректность простого суммирования результатов методик, как это предлагается при определении ПЛО (Хомская, Ефимова, 1989, 1991; Хомская и др., 1997, 2011).

В процессе проведения исследования мы обнаружили одну особенность дихотического прослушивания, которая привлекла наше внимание. При всех преимуществах данной методики вызывает вопросы следующая особенность процедуры её проведения. Для устранения возможного влияния технических артефактов после полного прослушивания всех серий наушники менялись местами. Таким образом, каждый испытуемый прослушивал набор слов дважды: сначала при исходном положении наушников, затем – при обратном. Наше исследование показало, что 52% испытуемых демонстрируют смену знака коэффициента правого уха на противоположный во второй серии (после переворачивания наушников). В целом это соответствует результатам Л.И. Московичюте и В.И. Голода (1989), отмечавшим роль научения при повторном проведении дихотического прослушивания. Скорее всего, испытуемые во второй серии воспроизводят именно те слова, которые отчётливо слышали в первой серии ведущим ухом. Распознав даже часть слова, услышанного неведущим ухом во второй серии, они домысливают его правильно, опираясь на образ слова, запечатлённый в первой серии благодаря работе ведущего уха. Эта закономерность открывает новые возможности для изучения межполушарного взаимодействия. Ведь, если узнавание слов, подаваемых на неведущее ухо, основывается на информации, полученной до этого ведущим ухом, то мы имеем дело с церебральным сопоставлением информации, принятой разными полушариями. Таким образом, зная степень латерализации, измеренную с помощью модифицированного (без повторения слов во второй серии) варианта дихотического прослушивания, можно затем оценивать межполушарное взаимодействие, используя исходный вариант методики.

При решении ряда практических задач требуется определение общего показателя межполушарной асимметрии без выделения функциональной латерализации отдельных анализаторных систем. Например, это может быть нужно для выявления преобладающих когнитивных стратегий при организации дифференцированного обучения. Для этого нами

был предложен метод, основанный на достижениях современной теории тестовых заданий (Item-Response Theory – IRT), предполагающей вычисление трудности тестовых заданий с помощью шкалы логитов. Суть метода заключается в том, что каждая методика рассматривается как один из пунктов теста, а «правильным ответом» считается совпадение с самоотчётом. Вес каждой методики вычисляется по формуле:  $\ln(p/q)$ , где  $p$  – число испытуемых, чьи результаты при выполнении пробы совпали с самоотчётом,  $q$  – число испытуемых, чьи результаты при выполнении пробы не совпали с самоотчётом. В тех пробах, где возможно получить один из трёх вариантов (правша, амбидекстр, левша), получение амбидекстром результата «правша» или «левша», равно как получение правой или левой результата «амбидекстр», прибавляет 0,5 балла как в числитель, так и в знаменатель формулы. На материале 96 испытуемых были получены весовые коэффициенты, которые позволили вывести формулу расчёта интегрального показателя асимметрии:  $0,1252 \cdot \text{«Поза Наполеона»} + 0,5108 \cdot \text{«Аплодирование»} + 0,2907 \cdot \text{«Проба Розенбаха»} + 2,8006 \cdot \text{«Опросник А.П. Чуприкова»} + 0,5331 \cdot \text{«Дихотическое прослушивание»} - 0,2513 \cdot \text{«Переплетение пальцев рук»} - 0,1921 \cdot \text{«Прицеливание»}$ . Результаты опросника А.П. Чуприкова и дихотического прослушивания следует предварительно перевести из сырых баллов в категориальную шкалу с использованием принятых интервалов: опросник А.П. Чуприкова – от -24 до -8 баллов – левша, от -8 до 8 баллов включительно – амбидекстр, больше 8 баллов – правша; дихотическое прослушивание: КПУ < -4 – левша,  $-4 \leq \text{КПУ} \leq 4$  – амбидекстр, КПУ > 4 – правша. Заметим, что в некоторых случаях перед названиями проб стоят отрицательные коэффициенты; это отражает реально наблюдаемую в выборке встречаемость совпадения или несовпадения результатов проб с самоотчётом. Вместо наименований проб следует подставить числа 1, 0, -1 для вариантов «правша», «амбидекстр», «левша» («правый показатель в пробе», «билатеральный показатель в пробе», «левый показатель в пробе») соответственно. Распределение интегрального показателя асимметрии имеет следующие параметры:  $2,5411 \pm 1,9274$ . Оно значимо отличается от нормального и во многом соответствует существующим представлениям о распределении правшей, амбидекстров и левшей в популяции (Рисунок 2). При необходимости протестированных испытуемых можно условно распределить по группам правшей, амбидекстров и левшей, разделив ось абсцисс на три равные части. В таком случае граница между левшами и амбидекстрами будет равна – 0,2125, а между амбидекстрами и правшами – 1,7456. Таким образом, левшами окажутся 8% выборки, амбидекстрами – 10%, а правшами – 82%.

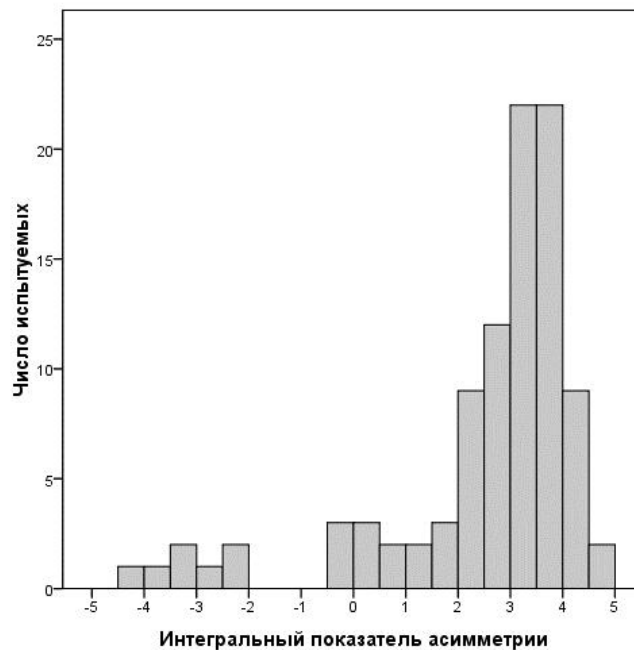


Рисунок 2. Распределение интегрального показателя межполушарной асимметрии (n = 96)

Таким образом, проведённое исследование продемонстрировало существенный недостаток схемы определения ПЛО, предложенной Е.Д. Хомской и И.В. Ефимовой (1989, 1991). Тот факт, что различные нейропсихологические пробы, концептуально предназначенные для оценки одного типа асимметрии, не всегда дают согласованные показатели, делает невозможным суммирование их результатов. В качестве альтернативы предлагается использовать результаты каждой методики по отдельности или оценивать интегральный показатель межполушарной асимметрии, вычисляемый на основе эмпирически обоснованных весовых коэффициентов. С другой стороны, наличие связи между результатами методик, измеряющих функциональную асимметрию разных анализаторных систем, ставит под вопрос независимость асимметрий мануальной, слухоречевой и зрительной сфер.

#### **4.2. Стандартизированная модификация опросника М. Аннетт для оценки функциональной мануальной асимметрии**

Для количественного измерения функциональной мануальной асимметрии нами (Хохлов, Бурова, 2014) была создана модификация опросника М. Аннетт (Annett, 1970). В нашей стране используется русскоязычная версия опросника, с которой можно ознакомиться в книге Е.Д. Хомской с соавторами (1995). Необходимость проведения данного исследования обусловлена отсутствием известных нам публикаций, в которых бы описывались его психометрические характеристики и результаты стандартизации.

На практике часто используют не весь опросник М. Аннетт, а лишь его первую часть, состоящую из 12 вопросов:

1. Какой рукой Вы предпочитаете кидать предметы?
2. Какой рукой Вы пишете?
3. Какой рукой Вы рисуете?
4. Какой рукой Вы играете в теннис, настольный теннис?
5. В какой руке держите ножницы?
6. Какой рукой бреетесь (красите губы)?
7. Какой рукой причёсываетесь?
8. В какой руке держите зубную щётку?
9. В какой руке держите нож во время еды или затачивания карандаша?
10. В какой руке держите ложку во время еды?
11. В какой руке держите молоток для забивания гвоздей?
12. В какой руке держите отвёртку?

Не менее известный в России сенсублизованный опросник для определения руконости для подростков и взрослых А.П. Чуприкова (1985) также состоит из 12 вопросов, причём многие из них содержательно совпадают с вопросами из опросника М. Аннетт. Процедура обработки результатов опросника А.П. Чуприкова предполагает использование весовых коэффициентов для различных вариантов ответа: «только правой» (2 балла), «чаще правой» (1 балл), «любой рукой» (0 баллов), «чаще левой» (-1 балл), «всегда левой» (-2 балла). Мы модифицировали исходный опросник М. Аннетт, взяв только указанные выше 12 вопросов и применив при подсчёте результатов алгоритм, описанный А.П. Чуприковым. Таким образом, минимальный возможный балл мог составить -24, а максимальный – 24 (большие значения соответствуют большему уровню правшества). Проведение теста и обработка его результатов занимают не более 5 минут.

Исследование проводилось с 2011 по 2014 гг. В 2011-2012 гг. данные собирались с помощью бумажных бланков и специально разработанной нами в среде программирования Borland Delphi 7 компьютерной программы, апробированной в СОШ №25 (г. Москва) в 2011 году. Со второй половины 2012 года стал использоваться аналог данной программы, реализованный на платформе «Мастер-тесты» интегрированной системы Интернет-сервисов «НТ-Line», предоставленной Инновационным центром «Гуманитарные технологии» (ООО).

Выборка стандартизации состояла из 232 человек в возрасте от 14 до 46 лет (средний возраст –  $18,2 \pm 3,7$ ), из них 169 женщин и 63 мужчины. По самоотчёту в выборке было 7% левшей, 8% амбидекстров и 85% правшей.

Минимальное значение суммарного балла составило -24, максимальное – 24, среднее –  $17 \pm 10,5$ . Распределение значительно отличалось от нормального ( $p < 0,001$ ). Экссесс оказался равен 5,724, асимметрия – -2,438. Диаграмма распределения суммарного балла представлена на Рисунке 3.

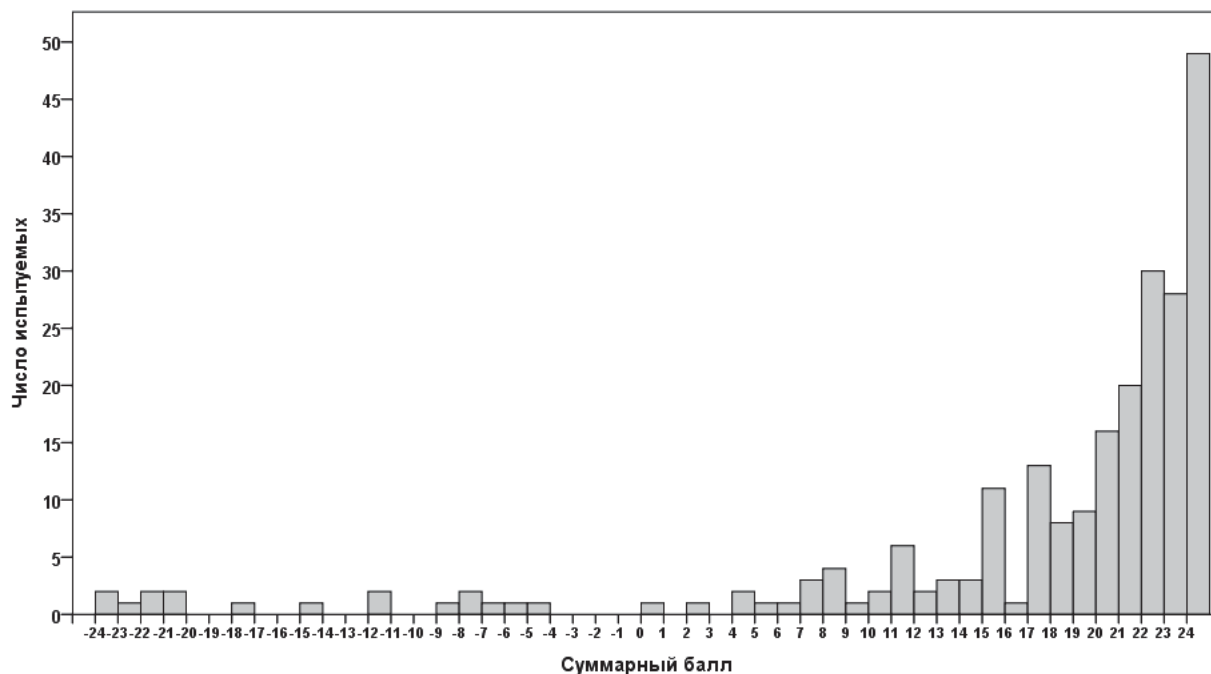


Рисунок 3. Распределение суммарного балла модификации опросника М. Аннетт для оценки функциональной асимметрии (n = 232)

В результате процентильной стандартизации была получена таблица соответствия суммарного балла z-оценкам (Таблица 2).

Таблица 2. Таблица соответствия сырого балла по модификации опросника М. Аннетт для оценки функциональной асимметрии стандартным оценкам (z)

| Сырой балл | z-оценки | Сырой балл | z-оценки | Сырой балл | z-оценки | Сырой балл | z-оценки |
|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| -24        | -2,6267  | -11        | -1,6705  | 2          | -1,4068  | 15         | -0,7511  |
| -23        | -2,2982  | -10        | -1,6705  | 3          | -1,3924  | 16         | -0,6677  |
| -22        | -2,1144  | -9         | -1,6490  | 4          | -1,3645  | 17         | -0,5759  |
| -21        | -1,9454  | -8         | -1,5890  | 5          | -1,3245  | 18         | -0,4466  |
| -20        | -1,8783  | -7         | -1,5341  | 6          | -1,2989  | 19         | -0,3472  |
| -19        | -1,8783  | -6         | -1,5000  | 7          | -1,2503  | 20         | -0,2067  |
| -18        | -1,8476  | -5         | -1,4675  | 8          | -1,1715  | 21         | -0,0108  |
| -17        | -1,8186  | -4         | -1,4518  | 9          | -1,1195  | 22         | 0,2623   |
| -16        | -1,8186  | -3         | -1,4518  | 10         | -1,0897  | 23         | 0,6081   |
| -15        | -1,7911  | -2         | -1,4518  | 11         | -1,0145  | 24         | 1,2503   |
| -14        | -1,7649  | -1         | -1,4518  | 12         | -0,9447  |            |          |
| -13        | -1,7649  | 0          | -1,4365  | 13         | -0,9033  |            |          |
| -12        | -1,7158  | 1          | -1,4215  | 14         | -0,8556  |            |          |

Дополнительно были вычислены нормативы для мужской и женской подвыборок. Степень различий между ними весьма незначительна, так что в исследованиях, где половые различия не являются предметом изучения, рекомендуется использовать приведённые выше обобщённые нормативы.

Показатели надёжности были рассчитаны на подвыборке из 104 человек, поскольку в первые годы исследования сбор данных производился преимущественно с помощью программы, сохранявшей только суммарный балл. Корреляция между чётными и нечётными пунктами теста составила 0,887. После поправки по формуле Спирмена-Брауна показатель надёжности-согласованности стал равен 0,94. Показатель синхронной надёжности (по формуле альфа Кронбаха) составил 0,941. Заметим, что наименьшей надёжностью обладал вопрос «В какой руке держите нож во время еды или затачивания карандаша?», его корреляция с суммарным баллом составила 0,662. При его удалении коэффициент альфа Кронбаха возрастает до 0,946. Удаление других пунктов к увеличению синхронной надёжности не приводит. Учитывая весьма незначительное изменение надёжности при удалении девятого вопроса и его приемлемую корреляцию с суммарным баллом, мы приняли решение оставить этот пункт в опроснике.

Валидность по критерию ответа на вопрос «Я правша» (да / нет) составила 0,51 (здесь и далее при оценке связи между номинативной и метрической переменной указан бисериальный коэффициент корреляции,  $n = 219$ ). Если в качестве критерия рассматривать дифференцированный ответ на вопрос «Кем вы себя считаете, правой, левой или амбидекстром?» (левша – -1, амбидекстр – 0, правша – 1), валидность составляет 0,55 ( $n = 219$ ). Также для оценки валидности мы воспользовались предложенными А.П. Чуприковым (1985) критериями отнесения испытуемых к левшам, амбидекстрам или правшам: от -24 до -8 баллов – левша, от -8 до 8 баллов включительно – амбидекстр, больше 8 баллов – правша. Полученные категории сопоставлялись с результатами самоотчёта с помощью таблиц сопряжённости. V-коэффициент Крамера составил 0,673. Применение H-критерия Краскела-Уоллеса и U-критерия Манна-Уитни показало, что значения суммарного балла по опроснику у левшей, амбидекстров и правой по самоотчёту значимо различаются как в целом, так и попарно ( $p < 0,001$ ). Наиболее распространённой ошибкой является отнесение испытуемых, являющихся амбидекстрами по самоотчёту, к правшам по опроснику. Конвергентная валидность с опросником функциональной мануальной асимметрии «МГУ-2013» (Хохлов и др., 2013) ( $n = 81$ ) составила 0,958. Дополнительно мы сопоставили результаты опросника с результатами нейропсихологических проб на функциональную мануальную асимметрию

– «Переплетение пальцев рук», «Поза Наполеона» и «Аплодирование» ( $n = 232$ ). С первыми двумя пробами значимых корреляций обнаружено не было. Корреляция с пробой «Аплодирование» составила 0,271. На наш взгляд, эти результаты в большей степени указывают на разнородность функциональной мануальной асимметрии, нежели на низкую валидность модификации опросника М. Аннетт.

Таким образом, нами был создан психометрический инструмент, позволяющий получать стандартизированные количественные оценки функциональной мануальной асимметрии и обладающий высоким уровнем надёжности и достаточной валидностью. Опросник может использоваться как в электронной, так и в бумажной (бланковой) форме.

#### **4.3. Латеральные признаки, структурно-уровневые характеристики интеллекта и математические способности**

Цель исследования (Хохлов, Ковязина, 2013а) состояла в выявлении связей между показателями межполушарной асимметрии, структурой интеллекта, его уровнем и математическими способностями у школьников и студентов.

Исследование включало в себя три этапа. Первый этап был направлен на выявление связей между показателями межполушарной асимметрии и компонентами структуры интеллекта. Для исследования межполушарной асимметрии использовались самоотчёт о мануальной асимметрии, сенсibilизированный опросник для определения руки для подростков и взрослых (Чуприков, 1985), пробы «Переплетение пальцев рук», «Поза Наполеона», «Аплодирование», «Прицеливание», проба Розенбаха, дихотическое прослушивание (Kimura, 1961) в русскоязычной адаптации Б.С. Котик (1974), метод оценки интегрального показателя межполушарной асимметрии (Хохлов, Ковязина, 2012б). Для диагностики структурно-уровневых характеристик интеллекта использовался тест структуры интеллекта Р. Амтхауэра (Amthauer, 1953) в адаптации Л.А. Ясюковой (2007). Оценивалась выраженность 9 умственных способностей, входящих в структуру интеллекта (практический интеллект, интуитивное понятийное мышление, понятийное логическое мышление, понятийная категоризация, математическая интуиция, формально-логическое мышление, образный синтез, пространственное мышление, оперативная логическая память), а также общий уровень интеллекта, представляющий собой суммарный показатель по всем субтестам. Выборка состояла из 36 здоровых студентов 1-5 курсов МГУ имени М.В. Ломоносова (факультеты психологии, журналистики, философский факультет), РГСУ и МГППУ в возрасте от 17 до 23 лет ( $19 \pm 1,5$ ), из них 33 девушки и 3 юношей.

Второй этап был направлен на выявление связей между показателями межполушарной асимметрии и успеваемостью по математическим дисциплинам. Для исследования межполушарной асимметрии использовались те же методики, что и на первом этапе исследования. Успеваемость по математическим дисциплинам оценивалась у школьников за полугодие, предшествовавшее моменту исследования, у студентов – по отметке в аттестате об окончании школы. Испытуемыми выступили 136 здоровых школьников и студентов (58 учащихся 10 класса, 31 учащийся 11 класса МОУ СОШ №24 (Комсомольск-на-Амуре), МОБУ «Тархановская средняя общеобразовательная школа» (Республика Мордовия), МБОУ «Общеобразовательное учреждение гимназия №5» (Красноярск), МОУ «Лицей №5» (Камышлов), СОШ №25 (Москва), 47 студентов 1-5 курсов МГУ имени М.В. Ломоносова (факультеты психологии, журналистики, философский факультет), РГУ имени С.А. Есенина, МГППУ, МГУЛ, КубГТУ, ГУУ, РГСУ, Московского медицинского колледжа №7) в возрасте от 16 лет до 31 года ( $18 \pm 2,3$ ), из них 94 девушки и 42 юноши. Все школьники, за исключением учащихся СОШ №25, обучались в 2011-2012 или 2012-2013 гг. на дистанционном элективном курсе «Дистанционная Развивающая Информатика и Математика» (ДРИМ, [www.drim.innovatedu.ru](http://www.drim.innovatedu.ru)), разработанном и организованном нами совместно с А.А. Мячевым. Взаимодействие с ними осуществлялось через Интернет либо напрямую, либо с помощью локальных координаторов – учителей соответствующих школ. Исследование испытуемых, находившихся в других городах, проводилось дистанционно с помощью специально разработанных компьютерных программ. Контроль выполнения методик школьниками осуществляли заранее проинструктированные нами локальные координаторы.

Третий этап был направлен на выявление связей между показателями межполушарной асимметрии и математическими способностями, измеряемыми с помощью теста. Для исследования межполушарной асимметрии использовались те же методики, что и на предыдущих этапах исследования. Для исследования математических способностей использовалась тестовая модификация субтеста №5 «Математическая интуиция» теста структуры интеллекта Р. Амтхауэра (Amthauer, 1953) в адаптации Л.А. Ясюковой (2007). Тест представляет собой набор из 20 заданий, предъявляемых поочередно. К каждому заданию даётся 4 варианта ответа, один из которых правильный. Время тестирования ограничено 10 минутами. Оценивается число правильно решённых заданий. Две параллельные формы (А и В) предъявлялись с перерывом не менее месяца. Данная методика разрабатывалась и проводилась с помощью платформы «Мастер-тесты» интегрированной системы Интернет-сервисов «НТ-Line», предоставленной

Инновационным центром «Гуманитарные технологии» (ООО). Разработанная нами модификация обладает конвергентной валидностью по отношению к исходному субтесту на уровне 0,8-0,9. В выборку вошли 49 здоровых человек (37 учащихся 10 класса, 3 учащихся 11 класса МОУ СОШ №24 (Комсомольск-на-Амуре), МОБУ «Тархановская средняя общеобразовательная школа» (Республика Мордовия), МБОУ «Общеобразовательное учреждение гимназия №5» (Красноярск), МОУ «Лицей №5» (Камышлов), 9 студентов 1-3 курсов факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова) в возрасте от 16 до 20 лет ( $17 \pm 1,1$ ), из них 36 девушек и 13 юношей.

Первый этап исследования выявил многочисленные связи показателей межполушарной асимметрии с различными компонентами интеллекта. Латеральные признаки были не связаны только с такими компонентами структуры интеллекта, как практический интеллект, образный синтез и математическая интуиция. Во всех случаях обнаружения достоверных связей или различий преимущество наблюдалось при наличии правостороннего показателя латерализации. Уровень интеллекта оказался связан с результатами пробы «Аплодирование» и эффективностью межполушарного взаимодействия по дихотическому прослушиванию.

Второй этап исследования не выявил прямых связей между показателями межполушарной асимметрии и успеваемостью по математическим дисциплинам. При этом были выявлены связи успеваемости по алгебре и геометрии со структурно-уровневыми характеристиками интеллекта.

Третий этап исследования также не выявил прямых связей между показателями межполушарной асимметрии и математическими способностями, измеряемыми с помощью теста (математическим компонентом в структуре интеллекта).

Таким образом, не было обнаружено прямой связи между показателями межполушарной асимметрии и математическими способностями, исследованными как на результативном (успеваемость), так и на операциональном (математическая интуиция) уровнях. Анализ связей, объединяющих успеваемость по математическим дисциплинам со структурно-уровневыми характеристиками интеллекта, позволяет предположить, что математические способности в широком смысле (на уровне эффективности изучения математики) представляют собой сложную систему, связанную с особенностями межполушарной асимметрии лишь на уровне её отдельных звеньев (умственных способностей). На наш взгляд, интеллект также представляет собой функциональную систему, звенья которой являются отдельными умственными способностями. Что касается умственных способностей, то и они, по-видимому, имеют системную природу, но состоят из более жёстких звеньев (когнитивных процессов), имеющих мозговую локализацию.

Латерализация этих звеньев имеет непосредственное отношение к степени развития тех или иных способностей, из которых в конечном итоге складывается вся мыслительная деятельность. Некоторые способности носят метасистемный характер, но в конечном итоге также могут быть сведены к системе систем, состоящих из элементарных психических процессов. Именно поэтому при проведении исследований связи межполушарных отношений с интеллектом и математическими способностями следует учитывать как операциональные, так и результативные аспекты системных явлений, понимая, что один и тот же адаптивный результат может достигаться при неодинаковом вкладе разных функциональных звеньев.

#### **4.4. Прямые и косвенные эффекты влияния межполушарной асимметрии на математические способности**

Данное исследование (Хохлов, 2014г) было посвящено уточнению результатов, полученных в предыдущем исследовании (Хохлов, Ковязина, 2013а). Цель исследования заключалась в сопоставлении показателей межполушарной асимметрии с компонентами математических способностей с помощью структурного моделирования (моделирования регрессионными уравнениями) и выявлении прямых и косвенных эффектов влияния межполушарных отношений на математические способности.

Для исследования межполушарной асимметрии использовались самоотчёт о мануальной асимметрии, стандартизированная модификация опросника М. Аннетт (Annett, 1970) для оценки функциональной мануальной асимметрии (Хохлов, Бурова, 2014), опросник функциональной мануальной асимметрии «МГУ-2013» (Хохлов и др., 2013), пробы «Переплетение пальцев рук», «Поза Наполеона», «Аплодирование», «Прицеливание» (для уточнения использовалась проба «Прищуривание глаза»), проба Розенбаха, дихотическое прослушивание (Kimura, 1961) в русскоязычной адаптации Б.С. Котик (1974), метод оценки интегрального показателя межполушарной асимметрии (Khokhlov, Kovyazina, 2013). Для диагностики структурно-уровневых характеристик интеллекта использовался тест структуры интеллекта Р. Амтхауэра (Amthauer, 1953) в адаптации Л.А. Ясюковой (2007). Для оценки эффективности математической деятельности использовались показатели: оценка по алгебре, оценка по геометрии (в аттестате об окончании школы), балл единого государственного экзамена (ЕГЭ) по математике. Для измерения математических способностей использовался тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОС-2015» (Хохлов, 2015е).

В исследовании были задействованы 60 здоровых студенток 1-6 курсов московских вузов (МГУ, МГППУ, РГСУ) в возрасте от 17 до 23 лет ( $18,8 \pm 1,6$ ). Все студентки обучались на гуманитарных факультетах и не проходили специального обучения по математическим дисциплинам.

Предварительный анализ результатов позволил предположить, что компоненты структуры интеллекта выступают медиаторами, опосредующими связь межполушарных отношений с эффективностью математической деятельности и математическими способностями. Построение структурных моделей с использованием разных подходов позволило выявить прямые и непрямые эффекты влияния межполушарной асимметрии на математические способности. Позднее полученные данные также были обработаны с помощью обобщённых линейных смешанных моделей (Хохлов, 2015г). Выяснилось, что математические способности выше у лиц с преобладанием правосторонних латеральных признаков. Наиболее существенным предиктором математических способностей является отсутствие зрительного левшества (наличие правшества или билатеральности в зрительной сфере). Однако сами по себе показатели межполушарной асимметрии слабо предсказывают математические способности. В большинстве случаев компоненты структуры интеллекта опосредуют влияние параметров межполушарных отношений на математические способности. При этом умственные способности также выше у лиц с преобладанием правосторонних латеральных признаков. Можно полагать, что математические способности базируются на левополушарных механизмах оперирования формальными символами. Пространственные компоненты математических способностей, по-видимому, также связаны с функционированием левого полушария, что указывает на существование особых стратегий аналитической репрезентации пространственного смысла математической задачи в формальных символах.

#### **4.5. Влияние адаптации к инверсии зрительного восприятия на слухоречевую асимметрию**

Исследование было проведено нами совместно с М.Д. Деминой и П.О. Солодчик (Демина, Солодчик, Хохлов, 2014). Цель исследования заключалась в изучении влияния контролируемого изменения (инверсии) зрительной асимметрии на слухоречевую асимметрию.

В исследовании были задействованы 50 человек в возрасте от 16 до 65 лет ( $21,1 \pm 8,9$ ), из них 37 женщин и 13 мужчин. В экспериментальную группу (наличие инверсии зрительной асимметрии) вошли 25 человек в возрасте от 17 до 26 лет ( $18,4 \pm 1,7$ ), из них 21 женщина и 4 мужчин. В контрольной группе (отсутствие инверсии зрительной

асимметрии) оказались 25 человек в возрасте от 16 до 65 лет ( $23,9 \pm 11,9$ ), из них 16 женщин и 9 мужчин.

Исследование слухоречевой латерализации осуществлялось с помощью русскоязычной адаптации методики дихотического прослушивания, разработанной Б.С. Котик (1974) на основе оригинальной методики Д. Кимуры (Kimura, 1961).

Для воздействия на зрительную асимметрию использовался призматический псевдоскоп, позволяющий направить в правый глаз свет, который должен поступать в левый, и наоборот. Данный прибор был создан некоммерческим образовательным проектом «Тюнинг Восприятия» (руководитель Д.А. Хотинский) на основе патентов РФ № 2008802, МПК5 А61В5/16 («Способ тренировки пространственных способностей человека», заявитель – Институт авиационной медицины, авторы – С.В. Алешин, Г.В. Анисимов, И.М. Жданько, Н.Д. Сорокина, патентообладатель – С.В. Алешин, заявка 4948753/14 от 25.06.1991, опубликовано 15.03.1994), № 118080, МПК G02В23/02 («Инвертоскоп», авторы – Д.А. Шелудяков, А.В. Тулякова, В.Н. Сафронов, Д.А. Ахапкин, патентообладатель – Д.А. Шелудяков, заявка 2011149757/28 от 08.12.2011, опубликовано 10.07.2012), № 123986, МПК G02В27/22 («Оптическое устройство для реверсии или инверсии поля зрения», авторы и патентообладатели – Д.А. Шелудяков, А.В. Тулякова, А.Г. Александров, Д.А. Ахапкин, заявка 2012116976/28 от 27.04.2012, опубликовано 10.01.2013), № 86426, МКПО9 16-06 («Инвертоскоп бинокулярный», авторы и патентообладатели – Д.А. Шелудяков, А.В. Тулякова, А.Г. Александров, Д.А. Ахапкин, заявка 2012501315 от 27.04.2012, опубликовано 16.09.2013). Вес прибора – 140 г, вес призм – 46 г, габаритные размеры – 157х95х65 мм, максимальные углы поля зрения (в режиме псевдоскопа) – 75 градусов по горизонтали и 41 градус по вертикали.

Все испытуемые сначала проходили дихотическое прослушивание. В тренировочном блоке, направленном на адаптацию к выполняемому заданию, предъявлялись 3 серии. Затем предъявлялись первые 8 основных серий, по которым вычислялись основные показатели дихотического прослушивания. После этого испытуемые из экспериментальной группы надевали псевдоскоп и выполняли ряд заданий, направленных на гипотетическую перестройку межмодальных координат. Сначала испытуемые передвигались по помещению в сопровождении экспериментатора, осваивая пространство. Затем экспериментатор осуществлял щелчки пальцами перед лицом испытуемого, перемещая руку по полуокружности, описанной вокруг головы испытуемого. От испытуемого требовалось отслеживать взором руку экспериментатора, что приводило к конфликту между слуховым и зрительным восприятием локализации источника звука. После этого экспериментатор просил испытуемого, следя за его

артикуляцией, повторять называемые им цифры и слоги. При выполнении задания экспериментатор перемещался по аналогичной предыдущему этапу полуокружности, что приводило к необходимости соотнесения зрительного и слухового образов говорящего лица. Отметим, что при выполнении этих заданий испытуемым казалось, что источник звука приближается или удаляется с одной стороны, а сам звук – с другой. На заключительном этапе эксперимента испытуемым предъявлялись другие 8 серий дихотического прослушивания, по которым вновь вычислялись основные показатели слухоречевой латерализации. Испытуемые из контрольной группы выполняли аналогичные задания, но не надевали псевдоскоп.

Исследование показало, что в экспериментальной группе значимо чаще происходила смена знака слухоречевой асимметрии (по коэффициенту правого уха) на противоположный. В экспериментальной группе таких испытуемых оказалось 11 (44%), в контрольной – 2 (8%). V-коэффициент Крамера оказался равен 0,41 ( $p = 0,004$ ). Также мы оценили абсолютный сдвиг коэффициента правого уха после выполнения заданий. В экспериментальной группе он оказался на уровне тенденции ( $p = 0,054$ ) выше, чем в контрольной. Полученные результаты в целом указывают на то, что инверсия зрительной асимметрии приводит к изменению слухоречевой асимметрии, тем самым подтверждая предположение о межмодальной природе функциональной межполушарной асимметрии. Нельзя также исключать опосредованного влияния инверсии зрительной асимметрии на слухоречевую асимметрию через изменение функции контроля, носящей полимодальный характер. При этом, по-видимому, имеются широкие индивидуальные различия в эффективности и устойчивости межмодальных взаимодействий, обуславливающие неодинаковую степень подверженности слухоречевой асимметрии изменениям в связи с инверсией зрительного восприятия.

#### **4.6. Влияние сочетания мануальной и слухоречевой асимметрий на показатели дихотического прослушивания**

Исследование было проведено нами совместно с Н.В. Морозовой (Kovyazina, Khokhlov, Morozova, 2015; Ковязина, Хохлов, Морозова, 2016). Анализ литературных источников позволил предположить, что при определении ведущего по речи полушария важно учитывать сочетание моторных и сенсорных периферических асимметрий, свидетельствующее о межанализаторном или межмодальном взаимодействии. Цель исследования состояла в том, чтобы определить, влияет ли сочетание мануальной и слухоречевой асимметрий на показатели продуктивности воспроизведения слов в дихотическом прослушивании.

В исследовании участвовали 79 здоровых человек в возрасте от 18 лет до 51 года со средним профессиональным, неполным высшим или высшим образованием. Одну группу («правши») составили лица с ведущей правой рукой, не имеющие ближайших родственников-левшей (47 человек, средний возраст –  $29,04 \pm 9,97$  года). Во вторую группу («левши») вошли люди с ведущей левой рукой, имеющие в роду хотя бы одного близкого родственника-левшу (отца, мать, брата, сестру, бабушку, дедушку, дядю, тётю) (32 человека, средний возраст –  $29,41 \pm 10,34$  года). В работе использовалась методика дихотического прослушивания Д. Кимуры (Kimura, 1961), адаптированная на русский язык Б.С. Котик (1974).

Полученные результаты подтвердили предположение о том, что сочетание периферических (мануальной и слухоречевой) асимметрий влияет на показатели продуктивности восприятия стимулов в дихотическом прослушивании. Данный эффект выражен и в отношении общего коэффициента продуктивности (процента верно воспроизведённых слов). Вариативность данного показателя не может быть объяснена индивидуальными различиями в асимметриях отдельных модальностей, при этом сочетания межполушарных асимметрий речевых и двигательных процессов предсказывают 17,5% дисперсии. Если у правшей слухоречевая асимметрия влияет на общую продуктивность слухоречевого восприятия на уровне тенденции (6,5% дисперсии,  $p = 0,083$ ), то у левшей это влияние выражено куда сильнее (31,9% дисперсии,  $p = 0,001$ ). Самая высокая продуктивность слухоречевого восприятия отмечается у левшей с ведущим левым ухом (совпадение полушарного контроля), а самая низкая – у левшей с ведущим правым ухом (расхождение полушарного контроля). Правши характеризуются меньшей вариативностью значений, хотя тенденция к влиянию совпадения / не совпадения ведущих полушарий по речевым и двигательным процессам также проявляется.

Что касается продуктивности восприятия правым и левым ухом по отдельности, то она прежде всего зависит от слухоречевой асимметрии. Около половины дисперсии данных показателей может быть объяснено за счет вариативности коэффициента правого уха. Проявляется вполне закономерный эффект: чем выше участие левого полушария в обработке слухоречевой информации, тем выше продуктивность восприятия правым ухом, и наоборот. Однако и здесь некоторую дополнительную информацию даёт анализ влияния сочетаний асимметрий двух модальностей. Показатели продуктивности восприятия правого и левого слухового канала всегда оказывались выше у испытуемых, имеющих совпадение мануальной и слухоречевой асимметрий, однако только в отношении продуктивности восприятия левым ухом у испытуемых с ведущим правым

ухом значимость данного эффекта оказалась на уровне тенденции. Также оказалось, что у левшей асимметрия слухоречевого восприятия сильнее влияет на продуктивность восприятия левым ухом, а у правшей – правым.

#### **4.7. Тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015»**

Для проведения диагностики математических способностей нами был разработан тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015» (Хохлов, 2015е).

Разработка теста включала в себя отбор и составление заданий, сбор данных, вычисление надёжности тестовых заданий, удаление ненадёжных пунктов теста, расчёт валидности тестовых шкал и интерпретацию полученных результатов.

Цель разработки состояла в создании теста, который сможет измерять арифметические, алгебраические и геометрические способности, а также общий уровень математических способностей у взрослых и подростков, имеющих образование не ниже основного общего (9 классов). Дополнительно в тест была включена шкала внимания, позволяющая оценивать эффективность работы с информацией.

Для разработки основных шкал были отобраны математические задания, предполагающие владение программой 9 класса. Большая часть тестовых заданий была создана на основе вариантов государственной итоговой аттестации (ГИА) по математике (Глазков, Варшавский, Гаиашвили, 2014; Математика..., 2014; Семенов и др., 2014) математических задач для 9 класса (Мордкович, Мишустина, Тульчинская, 2002). Предполагалось, что эти задания должны быть доступны для большинства испытуемых. При этом были выделены два уровня заданий. Первые соответствовали простым заданиям первой части ГИА, и на их решение отводилось 1,5 минуты, вторые – заданиям второй и третьей части ГИА и на их решение отводилось 2,5 минуты. Каждый пункт теста состоял из вопроса (текста задания) и 4 вариантов ответа, из которых правильным был только один. Всего было отобрано по 15 наиболее типичных заданий по арифметике, алгебре и геометрии, причём заданий первого уровня сложности в каждой шкале было 8, а второго – 7. Поскольку для решения ряда заданий требовалось знать формулы из курса школьной математики, а взрослые испытуемые могли их не помнить, мы добавили возможность просмотра справочных материалов по алгебре и геометрии в процессе выполнения теста. Справочные материалы были составлены по (Математика..., 2014, с. 126-127). Доступность справочных материалов должна была нивелировать влияние памяти и

актуальных знаний на прохождение теста и позволить измерить именно математические способности.

Шкала внимания была создана по аналогии с аналогичными шкалами в тестах на профориентацию, разработанными Центром тестирования и развития «Гуманитарные технологии» (Пряжников и др., 2014), при этом все задания были оригинальными и ранее не использовались в других методиках. Всего было разработано 15 заданий, на выполнение каждого из них отводилось не более 45 секунд. Каждый пункт теста состоял из вопроса (текста задания) и 4 вариантов ответа, из которых один был правильным. В профориентационных тестах аналогичная шкала позволяет диагностировать возможность концентрации на выполнении заданий, в том числе в стрессовых ситуациях, эффективность выполнения кропотливой, монотонной работы, требующей высокой точности и аккуратности. Очевидно, что данная характеристика познавательной деятельности является достаточно широкой и имеет отношение не только к решению математических задач. Однако мы полагаем, что на уровень внимательности следует смотреть как на недостаточный, но необходимый фактор эффективности математической деятельности. Без должного уровня внимания работа с математической информацией оказывается непродуктивной. Кроме того, результаты выполнения заданий на внимание могут отражать функциональное состояние тестируемого. При низкой фоновой активности нервной системы, повышенной усталости или сонливости результаты выполнения любого теста на познавательные способности будут занижены. В этом плане шкала внимания может выступать аналогом шкалы достоверности в личностных тестах. Если внимание снижено, имеет смысл перенести выполнение основного теста на другое время. Если же и при повторном тестировании тестируемый покажет низкий уровень внимания, то это может рассматриваться как устойчивая особенность его познавательной сферы.

Таким образом, структура первоначального варианта теста оказалась следующей:

1. Блок «Внимание» (15 заданий для диагностики внимания, время выполнения каждого задания – 45 сек).
2. Блок «Математический тест №1» (24 простых математических заданий, из них 8 по арифметике, 8 по алгебре и 8 по геометрии, время выполнения каждого задания – 1,5 мин).
3. Блок «Математический тест №2» (21 математическое задание среднего и повышенного уровня сложности, из них 7 по арифметике, 7 по алгебре и 7 по геометрии, время выполнения каждого задания – 2,5 мин).

Апробация теста проводилась на базе платформы «Мастер-тесты» интегрированной системы Интернет-сервисов «НТ-Line», предоставленной Инновационным центром «Гуманитарные технологии» (ООО). Пример предъявления задания теста на экране компьютера представлен на Рисунке 4.

» Тестовое задание 29 из 36:

Больной принимает лекарство по следующей схеме: в первый день он принимает 5 капель, а в каждый следующий день - на 5 капель больше, чем в предыдущий. Приняв 40 капель, он 3 дня пьёт по 40 капель лекарства, а потом ежедневно уменьшает приём на 5 капель, доведя его до 5 капель. Сколько пузырьков лекарства нужно купить больному, если в каждом содержится 20 мл лекарства (что составляет 250 капель)?

☐ 3  
☐ 1  
☐ 2  
☐ 4

< НазадДалее >Отладка[Инструкция к блоку](#)

Пожалуйста, выберите ответ и/или нажмите на кнопку "Далее".

Рисунок 4. Пример предъявления задания с помощью сервиса «Мастер-тесты» интегрированной системы Интернет-сервисов «НТ-Line»

Каждый пункт теста предъявлялся по отдельности, переход к следующему заданию осуществлялся только после ответа на текущий вопрос или в случае истечения отведённого на задание времени. Возврат к предыдущим заданиям не допускался.

Привлечение испытуемых осуществлялось несколькими способами. Во-первых, в исследовании были задействованы студенты факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова. Во-вторых, тест был размещён на сайте Центра тестирования и развития «Гуманитарные технологии» ([www.proforientator.ru](http://www.proforientator.ru)), где его могли пройти все желающие. В-третьих, прохождение теста было предложено членам Клуба испытателей тестовых технологий (КИТТ) – открытого проекта Инновационного центра «Гуманитарные технологии», позволяющего разработчикам психологических методик размещать свои тесты для апробации, а желающим узнать о себе больше участникам – проходить интересующие их психологические тесты. В-четвёртых, в исследовании приняли участие учащиеся ГБОУ ЦО №1811 «Измайлово» (г. Москва). В качестве критерия отбраковки тестовых протоколов использовалось время прохождения теста. Первоначальная апробация теста показала, что для вдумчивого выполнения всех заданий даже профессиональным математикам требуется не менее 30 минут. Меньшее время прохождения в большинстве случаев свидетельствовало о потере интереса к тесту и случайном выборе ответов без непосредственного решения заданий. Если испытуемый тратил на тест меньше 30 минут, его результат в исследовании не использовался. Таким

образом, в окончательную выборку вошли 185 человек, из них 53 мужчины и 132 женщины в возрасте от 14 до 57 лет (средний возраст –  $23,3 \pm 9,3$ ).

При обработке результатов тестирования по каждой шкале было подсчитано число правильных ответов. Суммарная шкала математических способностей включила в себя результаты по шкалам «Арифметика», «Алгебра», «Геометрия». Затем была вычислена синхронная надёжность с использованием коэффициента альфа Кронбаха. Были отбракованы все пункты, удаление которых приводило к увеличению данного показателя. Для получившихся шкал была вычислена надёжность-согласованность – корреляция между чётными и нечётными пунктами с поправкой Спирмена-Брауна. Свойства сконструированных таким образом шкал приведены в Таблица 3.

Таблица 3. Свойства шкал теста МААГС-2015

|                                       | Арифметика  | Алгебра       | Геометрия     | Внимание      | Математика<br>(суммарная<br>шкала) |
|---------------------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|
| Число пунктов                         | 7           | 11            | 7             | 11            | 25<br>(7 + 11 + 7)                 |
| Альфа Кронбаха                        | 0,612       | 0,685         | 0,606         | 0,55          | 0,822                              |
| Надёжность-согласованность            | 0,583       | 0,67          | 0,62          | 0,578         | 0,794                              |
| Среднее,<br>стандартное<br>отклонение | $4 \pm 1,8$ | $5,6 \pm 2,6$ | $3,9 \pm 1,9$ | $9,1 \pm 1,7$ | $13,4 \pm 5,3$                     |
| Медиана                               | 4           | 5             | 4             | 9             | 13                                 |
| Мода                                  | 4           | 4             | 2             | 10            | 11                                 |

Применение критерия Колмогорова-Смирнова показало, что для всех шкал кроме суммарной шкалы «Математика» распределение тестовых баллов значительно отличается от нормального: «Арифметика» –  $Z = 1,823$  ( $p = 0,003$ ), «Алгебра» –  $Z = 1,475$  ( $p = 0,026$ ), «Геометрия» –  $Z = 1,948$  ( $p = 0,001$ ), «Внимание» –  $Z = 2,686$  ( $p < 0,001$ ). Для суммарной математической шкалы Z-критерий Колмогорова-Смирнова составил 0,965 ( $p = 0,31$ ).

Процентильная стандартизация (здесь и далее под процентилем понимается сумма процента испытуемых, имеющих значение меньше заданного, и половины процента испытуемых, имеющих заданное значение) позволила получить следующую таблицу соответствия суммарного балла стандартным оценкам (Таблица 4).

Таблица 4. Таблица соответствия сырого балла по шкалам теста МААГС-2015 стандартным оценкам (z)

| Сырой балл | z-оценки   |         |           |                              |          |
|------------|------------|---------|-----------|------------------------------|----------|
|            | Арифметика | Алгебра | Геометрия | Математика (суммарная шкала) | Внимание |
| 0          | -2,0766    | -2,5488 | -2,5488   | –                            | –        |
| 1          | -1,3801    | -1,8462 | -1,6068   | –                            | -2,7818  |
| 2          | -0,9638    | -1,3458 | -0,8513   | -2,5488                      | -2,2970  |
| 3          | -0,5558    | -0,9425 | -0,3455   | -2,2970                      | -2,1390  |
| 4          | -0,0542    | -0,5166 | 0,0339    | -2,1390                      | -2,0214  |
| 5          | 0,4783     | -0,1291 | 0,4707    | -1,7763                      | -1,8102  |
| 6          | 1,0422     | 0,1908  | 0,9967    | -1,3801                      | -1,5826  |
| 7          | 1,7444     | 0,5244  | 1,7142    | -1,0901                      | -1,2971  |
| 8          | –          | 0,8809  | –         | -0,9010                      | -0,8225  |
| 9          | –          | 1,1804  | –         | -0,7220                      | -0,2464  |
| 10         | –          | 1,4942  | –         | -0,5877                      | 0,4407   |
| 11         | –          | 2,0766  | –         | -0,4184                      | 1,3458   |
| 12         | –          | –       | –         | -0,1908                      | –        |
| 13         | –          | –       | –         | -0,0407                      | –        |
| 14         | –          | –       | –         | 0,0950                       | –        |
| 15         | –          | –       | –         | 0,2814                       | –        |
| 16         | –          | –       | –         | 0,4481                       | –        |
| 17         | –          | –       | –         | 0,6202                       | –        |
| 18         | –          | –       | –         | 0,8130                       | –        |
| 19         | –          | –       | –         | 0,9967                       | –        |
| 20         | –          | –       | –         | 1,1669                       | –        |
| 21         | –          | –       | –         | 1,3292                       | –        |
| 22         | –          | –       | –         | 1,5369                       | –        |
| 23         | –          | –       | –         | 1,7444                       | –        |
| 24         | –          | –       | –         | 2,0214                       | –        |
| 25         | –          | –       | –         | 2,5488                       | –        |

Не было выявлено значимой корреляции шкал теста с возрастом. Отсутствие такой связи позволяет говорить о том, что тест может применяться для диагностики математических способностей как у подростков, так и у взрослых людей без введения дополнительных поправок. Также ни по одной из шкал не было выявлено значимых половых различий. Таким образом, полученные нами тестовые нормы могут использоваться в универсальном порядке вне зависимости от пола и возраста.

Для анализа внутренней структуры теста были вычислены корреляции между всеми шкалами (Таблица 5).

Таблица 5. Корреляции между шкалами теста МААГС-2015 (только статистически значимые значения)

|                                 | Арифметика               | Алгебра                  | Геометрия                | Внимание                 |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Арифметика                      | –                        |                          |                          | 0,172<br>( $p = 0,019$ ) |
| Алгебра                         | 0,585<br>( $p < 0,001$ ) | –                        |                          | 0,339<br>( $p < 0,001$ ) |
| Геометрия                       | 0,399<br>( $p < 0,001$ ) | 0,581<br>( $p < 0,001$ ) | –                        | 0,151<br>( $p = 0,04$ )  |
| Математика<br>(суммарная шкала) | 0,785<br>( $p < 0,001$ ) | 0,904<br>( $p < 0,001$ ) | 0,759<br>( $p < 0,001$ ) | 0,287<br>( $p < 0,001$ ) |

Видно, что дополнительная шкала «Внимание» в той или иной степени коррелирует со всеми основными шкалами теста. Этот результат свидетельствует в пользу нашего предположения о том, что внимательность является одним из компонентов познавательной сферы, обеспечивающим эффективность протекания математической деятельности. Корреляции между математическими шкалами указывают на существование общего математического фактора, объединяющего арифметические, алгебраические и геометрические способности; это подтверждает правомерность введения в тест суммарной шкалы «Математика».

Валидность основных шкал теста проверялась путём вычисления корреляций с успеваемостью по математическим дисциплинам. Для этого использовались отметки по алгебре и геометрии, полученные испытуемыми за последний отчётный период (для школьников) или содержащиеся в аттестате об окончании школы (для получивших полное среднее образование). Поскольку школьные оценки относятся к порядковой шкале, перед вычислением корреляций мы провели процентильную стандартизацию для представления данных в шкале интервалов. В выборку валидизации вошли 42 человека, из них 3 мужчин и 39 женщин в возрасте от 16 до 26 лет (средний возраст –  $18,9 \pm 2,1$ ).

Как видно из Таблицы 6, результаты теста связаны с эффективностью учебной математической деятельности, однако это связь не является специфической по отношению к отдельным дисциплинам. Очевидно, что успеваемость по математическим дисциплинам не может быть полностью сведена к математическим способностям. Большую роль играют личностные особенности учащегося, взаимоотношения с учителями, и другие общие психологические условия, не имеющие прямого отношения к операциональным компонентам математической деятельности. Школьная программа предполагает применение алгебраических знаний в геометрии и, хотя и в меньшей степени, применение геометрических знаний в алгебре. Этим, на наш взгляд, объясняется отсутствие

дискриминантной валидности между успеваемостью по алгебре и геометрии и шкалами «Геометрия» и «Алгебра» соответственно.

Таблица 6. Корреляции между шкалами теста МААГС-2015 и оценками по математическим дисциплинам (только статистически значимые значения)

|                        | Арифметика              | Алгебра                  | Геометрия                | Математика<br>(суммарная<br>шкала) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Оценка<br>по алгебре   |                         | 0,402<br>( $p = 0,008$ ) | 0,51<br>( $p = 0,001$ )  | 0,489<br>( $p = 0,001$ )           |
| Оценка<br>по геометрии | 0,32<br>( $p = 0,039$ ) | 0,443<br>( $p = 0,003$ ) | 0,568<br>( $p < 0,001$ ) | 0,553<br>( $p < 0,001$ )           |

Кроме того, мы сопоставили результаты теста с результатами выполнения Единого государственного экзамена (ЕГЭ) по математике. В выборку валидизации вошли 42 человека, из них 4 мужчины и 38 женщин в возрасте от 17 до 25 лет (средний возраст –  $19,9 \pm 1,8$ ). Оказалось, что с результатом ЕГЭ связана только суммарная шкала «Математика» ( $r = 0,337$ ,  $p = 0,029$ ). С учётом комплексного характера экзамена полученный результат представляется вполне закономерным. Дополнительная шкала «Внимание» обладает дискриминантной валидностью по отношению к рассмотренным показателям.

Интерпретируя результаты, мы бы хотели отметить, что полученные корреляции не могут однозначно свидетельствовать о конструктивной и содержательной валидности теста. Поскольку способности проявляются в деятельности, а деятельность всегда зависит не только от способностей, сложно подобрать такой внешний показатель, связь с которым стремилась бы к абсолютной. Эта особенность характерна для всех тестов на специальные способности. Здесь же мы можем говорить о критериальной валидности, хотя в обоих случаях имели дело с ретроспективной валидизацией. Впрочем, тот факт, что результаты теста коррелируют с показателями эффективности учебной математической деятельности, а процедура проведения теста сводит к минимуму влияние общих психологических факторов (по крайней мере, по сравнению с ситуацией учебного тестирования), позволяет считать, что тест действительно измеряет математические способности.

Чтобы выяснить, насколько измеряемые с помощью теста математические способности связаны с другими умственными способностями, мы сопоставили полученные результаты с результатами прохождения теста структуры интеллекта Р. Амтхауэра (Amthauer, 1953) в адаптации Л.А. Ясюковой (2007). Данный тест позволяет измерять 9 компонентов интеллекта, а сумма баллов по всем шкалам отражает общий

уровень интеллекта (подробнее о структуре интеллекта учащихся 10 классов см. в нашей работе – Хохлов, 2014). Приведём краткое описание используемых в тесте шкал.

1. Практический интеллект: здравый смысл, рассудительность, умение выделять в информации практически значимую сторону, практически важные детали. Общая осведомлённость: обладание обширными фактологическими знаниями из самых разнообразных сфер. Способность создавать собственные, индивидуальные методы для систематизации информации, которая не поддаётся объективной классификации.

2. Интуитивное понятийное мышление. Умение видеть, выделять основное, значимое, главное в описательном, неструктурированном материале, понимать внутренний смысл высказываний, сообщений, отделять существенные, константные свойства, характеристики объектов и явлений от «внешних», второстепенных.

3. Понятийное логическое мышление. Умение выделять объективные закономерности, связи между явлениями окружающего мира, видеть внутреннюю логику в последовательности событий, происходящих изменениях, вычленять алгоритмы деятельности.

4. Понятийная категоризация. Способность к образованию понятий, определению конкретных явлений в рамках более общих категорий, систематизации знаний, обобщению, структурированию описательного, эмпирического материала посредством создания объективных классификаций.

5. Математическая интуиция. Способность к усвоению и «автоматическому» использованию стандартных математических алгоритмов.

6. Формально-логическое мышление. Умение оперировать отношениями, зависимостями, безотносительно к качественному содержанию информации, совершать различные логические преобразования самих операций.

7. Образный синтез. Способность к формированию целостных представлений на основе последовательно поступающей, несистематизированной, разрозненной, отрывочной, неполной информации.

8. Пространственное мышление. Способность к вычленению пространственной структуры объектов и оперированию уже не целостными образами или «внешними», видимыми свойствами, а внутренними структурными зависимостями и отношениями.

9. Оперативная логическая память. Формируется в результате преобразования памяти на основе понятийного мышления.

Результаты были получены на выборке из 32 человек, из них 2 мужчин и 30 женщин в возрасте от 17 до 23 лет (средний возраст –  $18,4 \pm 1,4$ ). Матрица корреляций приведена в

Таблице 7 (номера в первом столбце соответствуют приведённым выше номерам шкал теста Р. Амтхауэра).

Таблица 7. Корреляции между шкалами теста МААГС-2015 и результатами теста структуры интеллекта Р. Амтхауэра (только статистически значимые значения)

|               | Внимание                 | Арифметика               | Алгебра                  | Геометрия                | Математика<br>(суммарная<br>шкала) |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 1             |                          | 0,51<br>( $p = 0,003$ )  |                          |                          | 0,459<br>( $p = 0,008$ )           |
| 3             |                          | 0,395<br>( $p = 0,025$ ) |                          |                          |                                    |
| 4             | 0,393<br>( $p = 0,026$ ) |                          |                          |                          |                                    |
| 5             | 0,373<br>( $p = 0,036$ ) | 0,479<br>( $p = 0,006$ ) | 0,646<br>( $p < 0,001$ ) | 0,458<br>( $p = 0,008$ ) | 0,692<br>( $p < 0,001$ )           |
| 6             |                          | 0,405<br>( $p = 0,021$ ) | 0,494<br>( $p < 0,001$ ) | 0,376<br>( $p = 0,034$ ) | 0,545<br>( $p = 0,001$ )           |
| 7             | 0,384<br>( $p = 0,03$ )  |                          |                          |                          |                                    |
| 8             |                          |                          |                          | 0,432<br>( $p = 0,014$ ) | 0,425<br>( $p = 0,015$ )           |
| 9             |                          | 0,393<br>( $p = 0,026$ ) | 0,37<br>( $p = 0,037$ )  | 0,496<br>( $p = 0,004$ ) | 0,561<br>( $p = 0,001$ )           |
| Общий<br>балл | 0,367<br>( $p = 0,039$ ) | 0,497<br>( $p = 0,004$ ) | 0,542<br>( $p = 0,001$ ) | 0,506<br>( $p = 0,003$ ) | 0,663<br>( $p < 0,001$ )           |

Оценка значимых предикторов с помощью линейной регрессии (метода пошагового отбора) показала, что для арифметических способностей значимым предиктором является практический интеллект, объясняющий 26,1% дисперсии. Для алгебраических способностей значимым предиктором выступает только математическая интуиция, объясняющая 41,7% дисперсии. Для геометрических способностей значимым предиктором являются оперативная логическая память, математическая интуиция и понятийное логическое мышление, суммарно объясняющие 44,7% дисперсии. Для суммарной шкалы «Математика» значимыми предикторами являются математическая интуиция и оперативная логическая память, вместе объясняющие 60,5% дисперсии. Если же в качестве возможного предиктора рассматривать суммарный балл по тесту Р. Амтхауэра, то он объясняет 24,7% вариативности арифметических способностей, 29,4% алгебраических, 25,6% геометрических и 44% суммарной шкалы «Математика». Поскольку шкала математической интуиции сама по себе направлена на измерение математических способностей, мы дополнительно произвели те же вычисления при удалении из суммарного балла интеллекта баллов по этой шкале. Для шкалы

«Арифметика» объяснённая дисперсия составила 21,9%, для шкалы «Алгебра» – 23,1%, для шкалы «Геометрия» – 23,3%, а для суммарной шкалы «Математика» – 37,4%. Таким образом, полученные результаты соответствуют предположению о том, что до половины вариативности математических способностей может быть объяснено за счёт интеллекта, другая же часть обладает определённой специфичностью.

Что касается дополнительной шкалы «Внимание», то полученные результаты указывают на те компоненты интеллекта, для проявления которых оптимальное функциональное состояние является наиболее существенным. Характерно, что одним из этих компонентов является математическая интуиция. Это лишний раз подтверждает, что достаточный уровень внимания выступает одним из условий успешности математической деятельности.

Валидизация дополнительной шкалы «Внимание» проводилась путём её сопоставления с результатами выполнения корректурной пробы (теста Б. Бурдона – Bourdon, 1895). Использовалась компьютеризированная версия теста Бурдона, разработанная в Славянском государственном педагогическом университете (г. Славянск, Украина) под руководством Д.В. Логвиновой (о стандартизации этой версии теста см. нашу работу – Хохлов, Фёдорова, 2016). Фиксировались следующие показатели: количество просмотренных за время тестирования (10 минут) букв (S), количество правильно выбранных букв (C), количество неправильно выбранных букв (W), количество ошибочно пропущенных букв (O). Вычислялись следующие показатели: коэффициент точности =  $C / (C+O)$ , коэффициент правильности =  $(C-W) / (C+O)$ , коэффициент продуктивности =  $S \cdot (C-W) / (C+O)$ .

В выборку валидизации вошли 32 человека, из них 4 мужчин и 28 женщин в возрасте от 16 до 54 лет (средний возраст –  $23,6 \pm 9,1$ ). Испытуемые проходили корректурную пробу не в тот день, когда выполняли тест МААГС-2015.

Шкала «Внимание» коррелировала с числом правильно выбранных букв ( $r = 0,402$ ,  $p = 0,022$ ) и коэффициентом продуктивности ( $r = 0,415$ ,  $p = 0,018$ ). Также на уровне тенденции проявилась связь с числом просмотренных букв, отражающим скоростные характеристики внимания ( $r = 0,341$ ,  $p = 0,056$ ).

Полученные результаты позволяют говорить о том, что шкала «Внимание» диагностирует не только текущую концентрацию на выполнении заданий, но и более устойчивые особенности познавательной сферы, проявляющиеся в различных ситуациях. Однако текущее функциональное состояние тестируемого может влиять на выполнение заданий куда сильнее, чем устойчивые динамические характеристики психической деятельности. Величина вклада ситуативных компонентов обуславливается как

индивидуальными различиями тестируемых, так и своеобразием самой ситуации тестирования. Поэтому мы рекомендуем использовать результаты шкалы «Внимание» для первичного контроля возможного негативного влияния текущего функционального состояния. Если тестируемый демонстрирует низкий результат по этой шкале (ниже одного стандартного отклонения), ему стоит предложить выполнить тест в другой день. Если же и в другой день результаты окажутся низкими, это может быть связано с устойчивыми особенностями внимания.

Тест МААГС-2015 существует в равноценных бумажной (бланковой) и электронной версиях. Перед началом диагностики тестируемому выдаётся избыточный справочный материал по алгебре и геометрии, которым он может пользоваться на протяжении всего тестирования (в электронной версии справочный материал доступен на экране компьютера). При выполнении каждого задания выбранный вариант ответа записывается в бланк ответов или выбирается на экране компьютера. Далее описывается процедура проведения теста в бумажной (бланковой) версии. Электронная версия отличается тем, что задания предъявляются не на карточках, а на экране компьютера. Также в электронной версии нет необходимости контролировать время выполнения заданий, используя секундомер, т.к. система тестирования автоматически прерывает работу с заданием по истечении заданного времени.

Инструкция перед началом теста:

«Данный тест предназначен для определения Ваших математических способностей и внимательности. Вам предстоит выполнить три блока заданий («Внимание», «Математический тест №1», «Математический тест №2»). Перед каждым блоком Вам будет дана инструкция, разъясняющая особенности выполнения заданий. Поскольку время выполнения каждого задания ограничено, постарайтесь не отвлекаться. Вы сможете делать перерывы только между блоками заданий. Общее время выполнения теста составит примерно 45 минут. Перед выполнением теста подготовьте несколько листов бумаги и ручку. Вы можете использовать черновик для выполнения заданий».

Инструкция перед началом первого блока «Внимание»:

«Вам будут предъявлены 11 заданий, направленных на выявление уровня внимательности. В каждом задании необходимо из 4-х предложенных вариантов ответа выбрать один правильный и записать его номер в бланк ответа рядом с номером выполненного задания. Время на выполнение теста ограничено, на каждое задание отводится 45 секунд. Приготовьтесь к работе, соберитесь с мыслями. Успешной работы!».

Тестируемому выдаются предварительно перемешанные карточки с заданиями №№ 1-11 (Приложение 1). Карточки располагаются на столе лицевой стороной вниз.

Тестируемый берёт каждую карточку, переворачивает её и начинает выполнять задание. Такая процедура обеспечивает случайный порядок предъявления заданий внутри блока. Секундомер следует включать каждый раз при переворачивании новой карточки и выключать при записи варианта ответа в бланк или истечении отведённого времени. В процессе тестирования секундомер должен находиться в зоне видимости тестируемого, чтобы он мог видеть, сколько времени остаётся на выполнение задания. Выполнив задание или не успев выполнить его за отведённое время, тестируемый откладывает карточку в сторону лицевой стороной вниз.

Рекомендуется сразу подсчитать число правильных ответов по шкале «Внимание», т.к. если оно меньше 8, это может указывать на сниженное функциональное состояние тестируемого. В таком случае тест следует провести в другой день (желательно не ранее, чем через неделю). При повторном тестировании результат по шкале «Внимание» также может оказаться низким, однако это скорее будет свидетельствовать об устойчивых особенностях познавательной сферы тестируемого. При любых результатах по шкале «Внимание» повторное тестирование имеет смысл довести до конца.

Инструкция перед началом второго блока «Математический тест №1»:

«Вам будут предъявлены 17 заданий, предназначенных для определения уровня Ваших математических способностей. Будут встречаться задания по арифметике, алгебре и геометрии. В каждом задании Вам необходимо из 4-х предложенных вариантов ответа выбрать один правильный и записать его номер в бланк ответа рядом с номером выполненного задания. Время на выполнение теста ограничено, на каждое задание отводится 1,5 минуты. Все задания достаточно простые и не требуют специальных математических знаний (ориентированы на владение программой 9 класса). Однако если Вы не помните какую-либо формулу или правило, можно воспользоваться справочным материалом по алгебре и геометрии».

До выполнения заданий второго и третьего блоков («Математический тест №1», «Математический тест №2») перед тестируемым следует положить справочный материал по алгебре и геометрии. Затем тестируемому выдаются предварительно перемешанные карточки с заданиями №№ 12-28 (Приложение 1). Карточки располагаются на столе лицевой стороной вниз. Тестируемый берёт каждую карточку, переворачивает её и начинает выполнять задание. Секундомер следует включать каждый раз при переворачивании новой карточки и выключать при записи варианта ответа в бланк или истечении отведённого времени. В процессе тестирования секундомер должен находиться в зоне видимости тестируемого, чтобы он мог видеть, сколько времени остаётся на

выполнение задания. Выполнив задание или не успев выполнить его за отведённое время, тестируемый откладывает карточку в сторону лицевой стороной вниз.

Инструкция перед началом третьего блока «Математический тест №2»:

«Вам будут предъявлены 8 заданий, предназначенных для определения уровня Ваших математических способностей. Будут встречаться задания по арифметике, алгебре и геометрии. В каждом задании Вам необходимо из 4-х предложенных вариантов ответа выбрать один правильный и записать его номер в бланк ответа рядом с номером выполненного задания. Время на выполнение теста ограничено, на каждое задание отводится 2,5 минуты. Хотя задания не требуют специальных математических знаний (ориентированы на владение программой 9 класса), многие из них достаточно сложные. Не расстраивайтесь, если Вы не сможете выполнить все задания. Задачи и ограничения по времени специально подобраны так, чтобы 100% правильных ответов не смог дать никто. Поэтому не тратьте слишком много времени на задания, решить которые не получается. Перечитайте ещё раз условие задачи, и если решить её все равно не удаётся, укажите наиболее вероятный ответ. Если Вы не помните какую-либо формулу или правило, можно воспользоваться справочным материалом по алгебре и геометрии».

Тестируемому выдаются предварительно перемешанные карточки с заданиями №№ 29-36 (Приложение 1). Карточки располагаются на столе лицевой стороной вниз. Тестируемый берёт каждую карточку, переворачивает её и начинает выполнять задание. Секундомер следует включать каждый раз при переворачивании новой карточки и выключать при записи варианта ответа в бланк или истечении отведённого времени. В процессе тестирования секундомер должен находиться в зоне видимости тестируемого, чтобы он мог видеть, сколько времени остаётся на выполнение задания. Выполнив задание или не успев выполнить его за отведённое время, тестируемый откладывает карточку в сторону лицевой стороной вниз.

Максимальное общее время выполнения всех заданий составляет 54 минуты. С учётом ознакомления тестируемого с инструкцией для проведения теста может понадобиться до 1 часа. Однако в большинстве случаев общее время выполнения теста не превышает 50 минут.

Подсчёт результатов производится отдельно для каждой шкалы в соответствии с ключом (Таблица 8).

Таблица 8. Ключи (номера правильных ответов) к заданиям теста МААГС-2015

| I блок (45 секунд на задание)    |   |    |   |
|----------------------------------|---|----|---|
| 1                                | 1 | 7  | 2 |
| 2                                | 4 | 8  | 3 |
| 3                                | 2 | 9  | 4 |
| 4                                | 1 | 10 | 3 |
| 5                                | 2 | 11 | 4 |
| 6                                | 4 |    |   |
| II блок (90 секунд на задание)   |   |    |   |
| 12                               | 2 | 21 | 3 |
| 13                               | 3 | 22 | 4 |
| 14                               | 1 | 23 | 2 |
| 15                               | 4 | 24 | 1 |
| 16                               | 4 | 25 | 2 |
| 17                               | 2 | 26 | 3 |
| 18                               | 1 | 27 | 1 |
| 19                               | 3 | 28 | 3 |
| 20                               | 1 |    |   |
| III блок (150 секунд на задание) |   |    |   |
| 29                               | 4 | 33 | 1 |
| 30                               | 3 | 34 | 4 |
| 31                               | 1 | 35 | 2 |
| 32                               | 2 | 36 | 3 |

Шкала «Арифметика» включает в себя 7 пунктов: №№ 12, 13, 22, 23, 29, 30, 31. Шкала «Алгебра» включает в себя 11 пунктов: №№ 14, 15, 16, 17, 18, 24, 25, 26, 32, 33, 34. Шкала «Геометрия» включает в себя 7 пунктов: №№ 19, 20, 21, 27, 28, 35, 36. Дополнительная шкала внимания включает в себя 11 пунктов: №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. За каждый правильный ответ начисляется один балл. Балл по суммарной шкале «Математика» равен сумме баллов по шкалам «Арифметика», «Алгебра», «Геометрия» (25 пунктов). Полученные баллы переводятся в стандартные оценки в соответствии с имеющимися нормативами (см. выше в Таблице 4).

#### 4.8. Итоги предварительных исследований

Предварительные исследования (Хохлов, Ковязина, 2012а, 2012б; Khokhlov, Kovyazina, 2013) были направлены на выявление ограничений применения имеющихся и разработку новых методических средств, предназначенных для измерения

функциональной межполушарной асимметрии в мануальной, слуховой и зрительной сферах. Обнаружено, что схема определения ПЛО, предложенная Е.Д. Хомской и И.В. Ефимовой (1989, 1991) имеет ряд недостатков, наиболее существенным из которых является суммирование показателей разных нейропсихологических проб, дающих несогласованные результаты. Это обусловило отказ от использования данной схемы в качестве основного методического подхода в дальнейших исследованиях. Вместе с тем были предложены другие методические средства: метод вычисления интегрального показателя межполушарной асимметрии (Khokhlov, Kovyazina, 2013), стандартизированная модификация опросника М. Аннетт для оценки функциональной мануальной асимметрии (Хохлов, Бурова, 2014). Мы также обнаружили, что методики, концептуально предназначенные для оценки функциональной межполушарной асимметрии разных анализаторных систем, могут давать согласованные результаты. Данное обстоятельство привлекло наше внимание к проблеме межмодального взаимодействия. Необходимость учёта межмодального взаимодействия в нейропсихологии индивидуальных различий была подтверждена следующими результатами. Во-первых, показано, что контролируемая инверсия зрительной асимметрии приводит к инверсии слухоречевой асимметрии (Демина, Солодчик, Хохлов, 2014). Во-вторых, обнаружено, что сочетание мануальной и слухоречевой асимметрий влияет на продуктивность воспроизведения слов в дихотическом прослушивании (Kovyazina, Khokhlov, Morozova, 2015; Ковязина, Хохлов, Морозова, 2016).

При исследовании связи показателей межполушарной асимметрии с математическими способностями (Хохлов, Ковязина, 2013а; Хохлов, 2014г) выяснилось, что отдельные латеральные признаки практически не связаны с математическими способностями. В тех случаях, где такая связь всё же обнаруживалась, математические способности были выше у лиц с преобладанием правосторонних латеральных признаков. Оказалось также, что компоненты структуры интеллекта опосредуют влияние параметров межполушарных отношений на математические способности. В процессе исследования математических способностей нами использовались различные способы оценки эффективности математической деятельности (тестовая модификация субтеста №5 «Математическая интуиция» теста структуры интеллекта Р. Амтхауэра (Amthauer, 1953) в адаптации Л.А. Ясюковой (2007); успеваемость по математическим дисциплинам; балл единого государственного экзамена (ЕГЭ) по математике). Далее для снижения влияния на результат побочных переменных и выделения собственно математических способностей нами был разработан тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГ-2015» (Хохлов, 2015е).

## Глава 5

### Эмпирическое исследование связи латеральных признаков и их взаимодействия (сочетаний) с математическими способностями

#### 5.1. Проблема, цель и задачи исследования

Предварительные исследования показали, что латеральные признаки слабо предсказывают математические способности. Небольшое преимущество отмечалось у лиц с признаками функционального доминирования левого полушария. Кроме этого, нами были получены результаты, указывающие на наличие связи между асимметриями отдельных анализаторов. Это позволило нам выдвинуть гипотезу, согласно которой статистическое взаимодействие (сочетание) латеральных признаков, отражающих функциональную межполушарную асимметрию в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах, является фактором выраженности компонентов математических способностей, причём оно позволит объяснить большую долю их вариативности, чем отдельные латеральные признаки.

Мы выделили арифметический, алгебраический и геометрический компоненты математических способностей, признавая при этом наличие общего математического фактора. Арифметические способности предполагают выполнение элементарных вычислений с учётом принятого порядка действий на материале действительных чисел. Алгебраические способности обеспечивают выполнение операций с выраженными буквами математическими величинами независимо от их числового значения. Геометрические способности необходимы для оперирования пространственными структурами и отношениями, представленными в виде математических объектов. Такое разделение математических способностей во многом опирается на логику развития самой математики (см. параграф 1.1.), при этом, безусловно, не является единственно возможным. Эвристичность такой классификации состоит в следующем. Геометрия работает с непрерывными протяжёнными объектами, арифметика и алгебра – с дискретными непротяжёнными объектами. При этом арифметика в большей степени имеет дело с числами, репрезентирующими материальные объекты, а алгебра – с операциями и алгоритмами, имеющими идеальный (нематериальный) характер. Есть основания полагать, что нейропсихологические характеристики по-разному связаны с этими компонентами, и в этом состоит специфичность и неоднородность мозгового обеспечения математических способностей. Более того, если какая-то нейропсихологическая характеристика связана с одним из компонентов математических способностей, но не связана с другими, можно с большой уверенностью утверждать, что

выявленная закономерность специфична в отношении математических способностей по сравнению с другими способностями (общими интеллектуальными, творческими и т.д.).

Цель исследования заключалась в выявлении показателей латерализации в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах и их сочетаний, являющихся предикторами компонентов математических способностей в юношеском возрасте (15-25 лет). В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи:

- 1) Диагностика латеральных признаков в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах;
- 2) Измерение математических способностей и их компонентов (арифметических, алгебраических и геометрических способностей);
- 3) Отбор латеральных признаков, максимально связанных с выраженностью математических способностей;
- 4) Оценка связи между интегральным показателем межполушарной асимметрии и математическими способностями;
- 5) Построение регрессионных моделей, включающих сочетания латеральных признаков и оценка их предсказательной способности в отношении компонентов математических способностей;
- 6) Оценка связи совпадения / несовпадения асимметрий в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах с компонентами математических способностей;
- 7) Поиск различий в выраженности математических способностей у лиц с различными профилями латеральной организации моторных и сенсорных функций.

В параграфе 1.2. мы обсуждали проблему совместного влияния на эффективность математической деятельности способностей и других психологических характеристик (интереса, мотивации, личностных черт), способствующих успеху в деятельности. Поскольку способности проявляются в деятельности, невозможно полностью разделить эти факторы. Мы посчитали возможным минимизировать вклад других психологических характеристики, задействовав в качестве испытуемых людей, не занимающихся профессиональной математической деятельностью и не обучающихся по математическим специальностям. У таких людей математические способности преимущественно обеспечивают деятельность по изучению математики. На наш взгляд, именно от таких способностей, как более связанных с индивидуальными особенностями анализаторных систем, и следует ожидать выраженной связи с параметрами межполушарной асимметрии.

Материалы аналогичного исследования, проведенного на меньшей выборке, представлены в наших статьях (Хохлов, Ковязина, 2016б, Khokhlov, Kovyazina, 2016).

## 5.2. Характеристика испытуемых

В исследовании приняли участие 120 человек в возрасте от 15 до 25 лет (средний возраст –  $18,5 \pm 2,8$ ), из них 27 юношей и 93 девушки. На момент исследования испытуемые не имели неврологических или психических заболеваний, черепно-мозговых травм, сотрясений мозга, нарушений слуха или нескорректированных нарушений зрения. 46 человек обучались в 13 образовательных организациях среднего общего или профессионального образования. В г. Москве – ГБОУ СОШ №1106, ГБОУ СОШ №1352, ГБОУ СОШ №1909, ГБОУ ЦО Измайлово №1811, ГБОУ «Школа №319», ГБОУ «Школа №2128 "Энергия"», ГБОУ «Школа с углубленным изучением английского языка №1256 имени Героя Советского Союза И.С. Полбина», ГБОУ лицей №1561, колледж ГМПИ им. М.М. Ипполитова-Иванова, Московский строительный колледж №38, Колледж предпринимательства №11, в г. Санкт-Петербурге – Колледж строительной индустрии и городского хозяйства, в г. Лобне – МБОУ СОШ №10. Все испытуемые на момент проведения исследования имели образование не ниже основного общего (9 классов). 56 человек обучались в московских вузах на нематематических специальностях (МГУ имени М.В. Ломоносова, МПГУ, Московский университет имени С.Ю. Витте, МЭИ, РГУНГ имени И.М. Губкина, РАНХиГС). Одна испытуемая имела полное среднее образование и на момент исследования нигде не обучалась. 17 человек являлись выпускниками вузов (МГУ имени М.В. Ломоносова, МФПУ «Синергия») и имели высшее образование по нематематическим специальностям. Подробные сведения об испытуемых приведены в Приложении 2. Не все испытуемые выполняли все методики, поэтому далее при описании каждой методики мы указываем объём задействованной выборки (n).

## 5.3. Методы и методики исследования

Для исследования сенсорных и моторных асимметрий использовались следующие методы и методики:

1. Самоотчет о мануальной асимметрии (П, Л). Испытуемого спрашивали, считает ли он себя правой или левой. Здесь и далее сокращения «П», «Л» и «А» обозначают правостороннюю, левостороннюю асимметрию и билатеральность соответственно. N = 120.

2. Стандартизированная модификация опросника М. Аннетт (Annett, 1970) для оценки функциональной мануальной асимметрии (Хохлов, Бурова, 2014). Процентильная стандартизация позволяет переводить сырые баллы в z-оценки. Подробное описание методики приводится в предыдущей главе (параграф 4.2). N = 63.

3. Проба «Переплетение пальцев рук» (П, Л). N = 91.

4. Проба «Поза Наполеона» (по локтю – П, Л). N = 91.

5. Проба «Аплодирование» (П, А, Л). N = 91.

6. Проба «Прицеливание», для уточнения использовалась проба «Прищуривание глаза» (П, А, Л). N = 92.

7. Проба Розенбаха (П, А, Л). N = 116.

8. Дихотическое прослушивание (Kimura, 1961) в русскоязычной адаптации Б.С. Котик (1974). Проводится в две серии. В первой серии правый наушник надевается на правое ухо, левый наушник – на левое ухо. Предъявляются 13 звуковых фрагментов по 4 слова на каждое ухо одновременно. После каждого фрагмента испытуемому необходимо ответить, какие слова были услышаны. Затем наушники меняются местами и опыт повторяется. Ранее нами (Хохлов, Ковязина, 2012, Khokhlov, Kovyazina, 2013) было обнаружено, что более чем в половине случаев во второй серии происходит смена ведущего уха или стремление к билатеральности. В связи с этим мы по отдельности рассматривали характеристики слуховой асимметрии, измеренные в первой и во второй сериях дихотического прослушивания. Данные были получены по 55 испытуемым, однако из-за сбоя в работе программы проведения методики для 6 испытуемых информация сохранилась только по одной переменной (общий КПУ). По результатам выполнения дихотического прослушивания оценивались следующие характеристики слуховой асимметрии:

– Коэффициент правого уха по обеим сериям – КПУ (общий) =  $(D-S) / (D+S) \cdot 100$ , где D – общее число правильно воспроизведённых слов, предъявлявшихся на правое ухо, S – соответственно на левое.

– Коэффициент правого уха в 1 серии – КПУ-1 =  $(D-S) / (D+S) \cdot 100$ , где D – число правильно воспроизведённых слов, предъявлявшихся на правое ухо в 1 серии, S – соответственно на левое.

– Коэффициент правого уха во 2 серии – КПУ-2 =  $(D-S) / (D+S) \cdot 100$ , где D – число правильно воспроизведённых слов, предъявлявшихся на правое ухо во 2 серии, S – соответственно на левое.

– Коэффициент продуктивности правого уха по обеим сериям – КППП (общий) =  $C_{\text{пр}} / \text{окс\_пр} \cdot 100$ , где  $C_{\text{пр}}$  – общая сумма верно воспроизведенных слов с правого уха, окс\_пр – общее число эталонных слов с правого уха. Окс\_пр = 104 слова.

– Коэффициент продуктивности правого уха в 1 серии – КППП-1 =  $C_{\text{пр}} / \text{окс\_пр} \cdot 100$ , где  $C_{\text{пр}}$  – сумма верно воспроизведенных слов с правого уха в 1 серии, окс\_пр – число эталонных слов с правого уха в 1 серии. Окс\_пр = 52 слова.

– Коэффициент продуктивности правого уха во 2 серии – КППП-2 =  $C_{\text{пр}}/\text{окс}_{\text{пр}} \cdot 100$ , где  $C_{\text{пр}}$  – сумма верно воспроизведенных слов с правого уха во 2 серии,  $\text{окс}_{\text{пр}}$  – число эталонных слов с правого уха во 2 серии.  $\text{Окс}_{\text{пр}} = 52$  слова.

– Коэффициент продуктивности левого уха по обеим сериям – КПРЛ (общий) =  $C_{\text{лев}}/\text{окс}_{\text{лев}} \cdot 100$ , где  $C_{\text{лев}}$  – общая сумма верно воспроизведённых слов с левого уха,  $\text{окс}_{\text{лев}}$  – общее число эталонных слов с левого уха.  $\text{Окс}_{\text{лев}} = 104$  слова.

– Коэффициент продуктивности левого уха в 1 серии – КПРЛ-1 =  $C_{\text{лев}}/\text{окс}_{\text{лев}} \cdot 100$ , где  $C_{\text{лев}}$  – сумма верно воспроизведённых слов с левого уха в 1 серии,  $\text{окс}_{\text{лев}}$  – число эталонных слов с левого уха в 1 серии.  $\text{Окс}_{\text{лев}} = 52$  слова.

– Коэффициент продуктивности левого уха во 2 серии – КПРЛ-2 =  $C_{\text{лев}}/\text{окс}_{\text{лев}} \cdot 100$ , где  $C_{\text{лев}}$  – сумма верно воспроизведённых слов с левого уха во 2 серии,  $\text{окс}_{\text{лев}}$  – число эталонных слов с левого уха во 2 серии.  $\text{Окс}_{\text{лев}} = 52$  слова.

Заметим, что не существует общепринятых границ перевода результатов дихотического прослушивания (общего КПУ) в категориальные оценки (П, А, Л). Например, Е.Д. Хомская с соавторами (1997), ссылаясь на Б.С. Котик (1974) и Э.Г. Симерницкую (1978), предлагает считать симметричными значения  $-5 < \text{КПУ} < 5$ . При этом Б.С. Котик (1992) выделяла следующие интервалы результатов дихотического прослушивания: выраженное преимущество левого уха –  $\text{КПУ} \leq -5$ ; симметричное воспроизведение –  $-5 < \text{КПУ} \leq 5$ ; умеренно выраженная асимметрия правого уха –  $5 < \text{КПУ} \leq 15$ ; сильно выраженная асимметрия воспроизведения –  $\text{КПУ} > 15$ . В работе М.С. Ковязиной, Н.В. Морозовой (2015) для отбора испытуемых, у которых речь контролируется обоими полушариями, использовались границы КПУ от -10 до 10. В наших исследованиях, проведённых с Н.В. Морозовой (Kovyazina, Khokhlov, Morozova, 2015; Ковязина, Хохлов, Морозова, 2016), «использовался метод выделения крайних групп по квартильным оценкам КПУ (медиана – 11,76; 25-й процентиль – 0; 75-й процентиль – 28,2), т.е. в группу с ведущим правым полушарием по слухоречевому восприятию вошли те участники, у кого КПУ меньше 0%; в группу с билатеральным контролем за слухоречевым восприятием вошли участники с КПУ от 0 до 28,2%; в группу с ведущим левым полушарием по слухоречевому восприятию – с КПУ, большим 28,2%» (Ковязина, Хохлов, Морозова, 2016, с. 113). В настоящем исследовании мы используем границы:  $\text{КПУ} < -8$  – «Л»,  $-8 \leq \text{КПУ} \leq 8$  – «А»,  $\text{КПУ} > 8$  – «П». Эти границы перевода КПУ в категориальную шкалу являются в известной степени произвольными, хотя и опираются на предшествующий опыт в использовании дихотического прослушивания.

9. Метод вычисления интегрального показателя межполушарной асимметрии (Khokhlov, Kovyazina, 2013). Подробное описание метода приводится в предыдущей главе

(параграф 4.1). При разработке этого метода для оценки мануальной асимметрии использовался опросник А.П. Чуприкова (1985), в текущем же исследовании использовалась модификация опросника М. Аннет (Хохлов, Бурова, 2014). Мы посчитали возможным подставлять в расчётную формулу категориальные оценки, полученные на основе результатов проведения модификации опросника М. Аннетт, из-за принципиальной схожести этих методик. Опросник А.П. Чуприкова также состоит из 12 пунктов, в обоих опросниках используется одинаковый алгоритм обработки результатов и применяются одинаковые границы перевода в категориальные оценки. По нашим данным корреляция между результатами методик находится в диапазоне 0,8-0,9. Результаты обоих опросников коррелируют с результатами опросника функциональной мануальной асимметрии «МГУ-2013» (Хохлов и др., 2013) на аналогичном уровне. Всё это позволяет считать их практически эквивалентными психодиагностическими инструментами.

Для диагностики математических способностей использовалась электронная версия авторского теста на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015» (Хохлов, 2015e). Тест представляет собой психометрическую методику, предназначенную для количественной диагностики уровня математических способностей у взрослых и подростков, имеющих образование не ниже основного общего (9 классов). Методика позволяет выявлять уровень развития компонентов математических способностей (шкалы «Арифметика», «Алгебра», «Геометрия»), а также определять степень развития математических способностей в целом. В тест включена дополнительная шкала «Внимание», диагностирующая эффективность работы с информацией и текущую концентрацию на выполнении заданий. Подробное описание теста приводится в параграфе 4.7. Тестирование математических способностей проводилось с помощью Интернет-версии методики на базе платформы «Мастер-тесты» интегрированной системы Интернет-сервисов «НТ-Line», предоставленной Инновационным центром «Гуманитарные технологии» (ООО). N = 120.

В подавляющем большинстве случаев испытуемые сначала проходили тест МАОГС-2015 (максимальное время прохождения – 54 минуты), а затем в течение месяца приглашались на встречу для выполнения методик исследования сенсорных и моторных асимметрий (не более 20 минут). В единичных случаях встреча для диагностики параметров межполушарных отношений предшествовала прохождению математического теста. Испытуемые были проинформированы о том, что исследование посвящено изучению математических способностей, однако до завершения участия не знали его точной цели и выдвинутых гипотез. По результатам прохождения теста МАОГС-2015 предоставлялась обратная связь об уровне развития математических способностей, а по

результатам выполнения методик исследования сенсорных и моторных асимметрий – сведения о ведущей руке, ведущем ухе и ведущем глазе. После завершения исследования все желающие были ознакомлены с публикациями по материалам работы.

Математико-статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью языка программирования R в программе RStudio 1.0.143 (использовались пакеты `dplyr`, `ggplots`, `psych`, `ROCR`). Основные алгоритмы работы с этим языком программирования описаны в следующих руководствах (Dalgaard, 2008; Maindonald, Braun, 2010; Allerhand, 2011; Мاستицкий, Шитиков, 2015; Кабаков, 2016; Шипунов и др., 2017).

Хотя математические методы традиционно делятся на параметрические и непараметрические (Сидоренко, 2010), строгость условий применимости методов и последствия их нарушения являются дискуссионным вопросом (Корнеев, Кричевец, 2011; Кричевец, Корнеев, Рассказова, 2012). «При нормальном распределении генеральной совокупности параметрические критерии обладают большей мощностью по сравнению с непараметрическими. Иными словами, они способны с большей достоверностью отвергать нулевую гипотезу, если последняя неверна. По этой причине в тех случаях, когда выборки взяты из нормально распределённых генеральных совокупностей, следует отдавать предпочтение параметрическим критериям. Однако, как показывает практика, подавляющее большинство данных, получаемых в психологических экспериментах, не распределены нормально, поэтому применение параметрических критериев при анализе результатов психологических исследований может привести к ошибкам в статистических выводах» (Ермолаев-Томин, 2012, с. 92-93). Поскольку цель нашего исследования заключалась в выявлении доли дисперсии математических способностей, объясняемой за счёт латеральных признаков и их взаимодействия (сочетаний), мы не могли отказываться от применения параметрических методов. Для снятия основных ограничений мы применяли процентильную стандартизацию данных, исходно представленных в порядковой шкале. Наряду с получением шкалы интервалов в большинстве случаев это также приводило к нормализации распределения. Как отмечают А.А. Бодалев и В.А. Столин, «переход к нормальному распределению создаёт очень удобные условия для количественных операций с диагностической шкалой: как со шкалой интервалов с ней можно производить операции линейного преобразования (умножение и сложение), можно описывать диагностические нормы в компактной форме (в единицах отклонений), можно применять линейный коэффициент корреляции Пирсона, критерии для проверки статистических гипотез, построенные в применении к нормальному распределению, т.е. весь аппарат традиционной статистики (основанной на нормальном распределении)» (Общая психодиагностика, 2006, с. 88).

Для оценки связи между метрическими переменными использовался коэффициент корреляции Пирсона, между категориальными переменными – критерий  $\chi^2$  для анализа таблиц сопряжённости. Для оценки различий между группами применялся дисперсионный анализ. При работе с двумя группами он сводился к вычислению F-критерия Фишера, при работе с тремя и более группами – дополнялся апостериорным анализом с применением критерия Тьюки для оценки попарных различий. Для оценки доли объяснённой дисперсии вычислялась простая или множественная линейная регрессия. В зависимости от исследовательской задачи в модель включалось или не включалось взаимодействие факторов (независимых переменных). Алгоритм построения регрессионных моделей допускал включение категориальных переменных в качестве предикторов.

#### 5.4. Результаты исследования

Описательные статистики для полученных данных приведены ниже (Таблица 9).

Таблица 9. Описательные статистики измеренных переменных

| № п/п | Переменная                          | Тип переменной               | Описательные статистики           | N   |
|-------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----|
| 1     | Самоотчёт                           | категориальная               | П – 90,8%; Л – 9,2%               | 120 |
| 2     | Опросник М. Аннетт (модификация)    | метрическая (стандартизация) | 15,7 ± 10,7<br>(-0,2626 ± 0,8317) | 63  |
| 3     | Переплетение пальцев                | категориальная               | П – 42,9%; Л – 57,1%              | 91  |
| 4     | Поза Наполеона                      | категориальная               | П – 49,5%; Л – 50,5%              | 91  |
| 5     | Аплодирование                       | категориальная               | П – 53,8%; А – 22%; Л – 24,2%     | 91  |
| 6     | Прицеливание                        | категориальная               | П – 43,5%; А – 7,6%; Л – 48,9%    | 92  |
| 7     | Проба Розенбаха                     | категориальная               | П – 52,6%; А – 25%; Л – 22,4%     | 116 |
| 8     | КПУ (общий)                         | метрическая                  | 4,1 ± 18,4                        | 55  |
| 9     | КПУ (1 серия)                       | метрическая                  | 5,9 ± 28                          | 49  |
| 10    | КПУ (2 серия)                       | метрическая                  | 2,6 ± 20,1                        | 49  |
| 11    | КПРП (общий)                        | метрическая                  | 49,5 ± 16,6                       | 49  |
| 12    | КПРП (1 серия)                      | метрическая                  | 49,5 ± 19,2                       | 49  |
| 13    | КПРП (2 серия)                      | метрическая                  | 49,5 ± 16,1                       | 49  |
| 14    | КПРЛ (общий)                        | метрическая                  | 44,9 ± 16,1                       | 49  |
| 15    | КПРЛ (1 серия)                      | метрическая                  | 43,3 ± 17,3                       | 49  |
| 16    | КПРЛ (2 серия)                      | метрическая                  | 46,4 ± 17,5                       | 49  |
| 17    | Шкала «Арифметика» теста МААГС-2015 | метрическая (стандартизация) | 4,1 ± 1,7<br>(0,0685 ± 0,9163)    | 120 |
| 18    | Шкала «Алгебра» теста МААГС-2015    | метрическая (стандартизация) | 5,7 ± 2,4<br>(0,0618 ± 0,8696)    | 120 |
| 19    | Шкала «Геометрия» теста МААГС-2015  | метрическая (стандартизация) | 4,0 ± 1,8<br>(0,0652 ± 0,9345)    | 120 |
| 20    | Шкала «Математика» теста МААГС-2015 | метрическая (стандартизация) | 13,9 ± 4,9<br>(0,0877 ± 0,8967)   | 120 |

| №<br>п/п | Переменная                           | Тип переменной                  | Описательные статистики                 | N   |
|----------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----|
| 21       | Шкала «Внимание»<br>теста МААГС-2015 | метрическая<br>(стандартизация) | $9,1 \pm 1,4$<br>$(-0,0364 \pm 0,8357)$ | 120 |

Результаты выполнения теста МААГС-2015 на статистически значимом уровне не связаны ни с одной из переменных, отражающих асимметрию в мануальной и зрительной сферах. При этом ряд закономерностей проявился на уровне тенденции. Арифметические способности связаны с результатами выполнения пробы «Переплетение пальцев рук»: при правом показателе –  $-0,0745 \pm 0,904$ , при левом –  $0,2711 \pm 0,8713$ ,  $F(1, 89) = 3,396$ ,  $p = 0,0687$ . Геометрические способности связаны с результатами выполнения пробы «Переплетение пальцев рук»: при правом показателе –  $-0,0676 \pm 0,8862$ , при левом –  $0,2753 \pm 0,9602$ ,  $F(1, 89) = 3,035$ ,  $p = 0,0849$ . Математические способности в целом также связаны с результатами выполнения пробы «Переплетение пальцев рук»: при правом показателе –  $0 \pm 0,7587$ , при левом –  $0,3227 \pm 0,9278$ ,  $F(1, 89) = 3,14$ ,  $p = 0,0798$ . Геометрические способности связаны с результатами выполнения пробы «Поза Наполеона»: при правом показателе –  $0,3023 \pm 0,8397$ , при левом –  $-0,0418 \pm 1,0086$ ,  $F(1, 89) = 3,12$ ,  $p = 0,0808$ . Кроме этого, геометрические способности связаны с самоотчётом: у правшей –  $0,1135 \pm 0,9347$ , у левшей –  $-0,4131 \pm 0,8245$ ,  $F(1, 118) = 3,232$ ,  $p = 0,0748$ .

Внимание и арифметические способности не связаны ни с одним из показателей слуховой асимметрии. Алгебраические способности связаны с КППП ( $r = 0,352$ ,  $p = 0,013$ ,  $n = 49$ ), КППП-1 ( $r = 0,335$ ,  $p = 0,018$ ,  $n = 49$ ), КППП-2 ( $r = 0,324$ ,  $p = 0,023$ ,  $n = 49$ ). Геометрические способности связаны с КПУ-2 ( $r = 0,29$ ,  $p = 0,043$ ,  $n = 49$ ). Суммарная шкала «Математика» связана с КППП ( $r = 0,296$ ,  $p = 0,039$ ,  $n = 49$ ) и КППП-1 ( $r = 0,313$ ,  $p = 0,029$ ,  $n = 49$ ).

Интегральный показатель межполушарной асимметрии связан с геометрическими способностями ( $r = 0,405$ ,  $p = 0,007$ ,  $n = 43$ ) и математическими способностями в целом ( $r = 0,36$ ,  $p = 0,018$ ,  $n = 43$ ). Наибольшая связь между интегральным показателем межполушарной асимметрии и математическими способностями проявляется при выраженном левополушарном доминировании. При удалении из выборки лиц со значениями интегрального показателя межполушарной асимметрии ниже 1,7456 возникает значимая связь с алгебраическими способностями ( $r = 0,444$ ,  $p = 0,009$ ,  $n = 34$ ), связь с геометрическими способностями становится несколько слабее ( $r = 0,38$ ,  $p = 0,027$ ,  $n = 34$ ), а с математическими способностями в целом – сильнее ( $r = 0,495$ ,  $p = 0,003$ ,  $n = 34$ ).

Далее мы построили регрессионные модели с несколькими предикторами и учётом их взаимодействия (сочетаний). При построении моделей число предикторов сокращалось с помощью метода пошагового отбора в обратном направлении (backward), что позволило оставить в итоговых моделях наиболее значимые из них.

С учётом множественности категориальных предикторов и их возможных сочетаний построение полных моделей с использованием всех латеральных признаков в качестве предикторов представлялось нецелесообразным. При попытке построить модели, в которых в качестве предикторов вошли все категориальные переменные (результаты самоотчёта, проб «Переплетение пальцев рук», «Поза Наполеона», «Аплодирование», «Прицеливание», пробы Розенбаха) и их двухфакторное взаимодействие, удалось объяснить примерно четверть вариативности математических способностей. Для арифметических способностей была получена следующая модель:  $F(11, 78) = 2,088$ ,  $p = 0,0308$ , множественный  $R^2 = 0,2275$ , скорректированный  $R^2 = 0,1185$ , для алгебраических способностей:  $F(34, 55) = 2,031$ ,  $p = 0,0094$ , множественный  $R^2 = 0,5566$ , скорректированный  $R^2 = 0,2825$ , для геометрических способностей:  $F(28, 61) = 2,003$ ,  $p = 0,0121$ , множественный  $R^2 = 0,479$ , скорректированный  $R^2 = 0,2398$ , для математических способностей в целом:  $F(28, 61) = 1,842$ ,  $p = 0,0219$ , множественный  $R^2 = 0,5084$ , скорректированный  $R^2 = 0,2325$ , для внимания:  $F(19, 70) = 2,538$ ,  $p = 0,0025$ , множественный  $R^2 = 0,4079$ , скорректированный  $R^2 = 0,2471$ . Существенное расхождение между множественным и скорректированным коэффициентами детерминации указывает на избыточность числа предикторов даже при наличии общей значимости модели. В связи с избыточностью числа предикторов было принято решение оставить в моделях только три независимые переменные, отражающие функциональную латерализацию моторного, слухового и зрительного анализаторов, – результаты модификации опросника М. Аннетт, дихотического прослушивания и пробы Розенбаха. Поскольку основным показателем дихотического прослушивания является КПУ, а математические способности в большей степени связаны с КПП, мы построили альтернативные модели с использованием и того и другого показателя.

Далее модели представлены в таблицах. В первой строке таблицы указано значение зависимой переменной при базовом уровне независимых переменных (intercept). В качестве базового уровня произвольно берётся определённый вариант латерализации. Метрические переменные на базовом уровне принимают нулевое значение. В последующих строках таблицы показано изменение зависимой переменной при переходе независимых переменных на другой уровень. Уровень статистической значимости ( $p$ ) в первой строке отражает значимость отличия базового уровня от среднего значения по

всей выборке. В остальных строках данный показатель указывает на значимость отличий от базового уровня.

Для арифметических способностей не удалось построить значимую модель с использованием КПУ. Модель с использованием КППП представлена ниже (Таблица 10).

Таблица 10. Связь результатов выполнения тестов и проб на асимметрию моторного, слухового (КППП) и зрительного анализаторов (с учётом взаимодействия) с арифметическими способностями

|                                                                                          | Оценка  | Стандартная ошибка | t       | p       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|---------|
| Базовый уровень                                                                          |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация) – 0<br>КППП – 0<br>Проба Розенбаха – А                  | -0,3766 | 0,7712             | -0,4880 | 0,6291  |
| Изменения по сравнению с базовым уровнем                                                 |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация)                                                         | 0,2035  | 0,2705             | 0,7520  | 0,4581  |
| КППП                                                                                     | 0,0162  | 0,0145             | 1,1210  | 0,2718  |
| Проба Розенбаха – Л                                                                      | 3,0292  | 1,8171             | 1,6670  | 0,1066  |
| Проба Розенбаха – П                                                                      | -0,1417 | 0,9354             | -0,1520 | 0,8806  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | -0,7264 | 0,5855             | -1,2410 | 0,2250  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | 0,4662  | 0,3792             | 1,2290  | 0,2292  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. КППП                             | -0,0822 | 0,0380             | -2,1630 | 0,0392* |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. КППП                             | 0,0007  | 0,0175             | 0,0400  | 0,9684  |
| Множественный $R^2$ : 0,3689, скорректированный $R^2$ : 0,1886                           |         |                    |         |         |
| F(8, 28): 2,046, p = 0,0772                                                              |         |                    |         |         |

Здесь и далее в качестве базового уровня берётся билатеральность по пробе Розенбаха при нулевых значениях по модификации опросника М. Аннетт и КППП (или КПУ в альтернативных моделях). Связь КППП с арифметическими способностями отмечается только при левом показателе в пробе Розенбаха. Увеличение КППП на 1 приводит к уменьшению среднего стандартизированного значения арифметических способностей на 0,0822. Мануальная асимметрия также по-разному связана с арифметическими способностями при различных результатах выполнения пробы

Розенбаха, однако это не достигает статистической значимости. Значимость всей модели находится на уровне тенденции.

Модель для предсказания алгебраических способностей с использованием КПУ представлена ниже (Таблица 11).

Таблица 11. Связь результатов выполнения тестов и проб на асимметрию моторного, слухового (КПУ) и зрительного анализаторов (с учётом взаимодействия) с алгебраическими способностями

|                                                                                          | Оценка  | Стандартная ошибка | t       | p       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|---------|
| Базовый уровень                                                                          |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация) – 0<br>КПУ – 0<br>Проба Розенбаха – А                   | -0,0752 | 0,2494             | -0,3010 | 0,7649  |
| Изменения по сравнению с базовым уровнем                                                 |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация)                                                         | -0,0752 | 0,2494             | -0,3010 | 0,7649  |
| КПУ                                                                                      | 0,0129  | 0,0066             | 1,9390  | 0,0604  |
| Проба Розенбаха – Л                                                                      | -0,9337 | 0,4365             | -2,1390 | 0,0393* |
| Проба Розенбаха – П                                                                      | -0,1351 | 0,3075             | -0,4390 | 0,6630  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | -0,8225 | 0,5410             | -1,5200 | 0,1371  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | 0,4221  | 0,3215             | 1,3130  | 0,1976  |
| Множественный $R^2$ : 0,2693, скорректированный $R^2$ : 0,1476                           |         |                    |         |         |
| F(6, 36): 2,212, p = 0,0643                                                              |         |                    |         |         |

Единственное значимое изменение алгебраических способностей отмечается при наличии левого показателя в пробе Розенбаха. По сравнению с билатеральным показателем среднее стандартизированное значение уменьшается почти на стандартное отклонение. На уровне тенденции КПУ положительно связан с алгебраическими способностями при наличии билатерального показателя в пробе Розенбаха. Как и в предыдущей модели, имеет место разнонаправленная связь мануальной асимметрии и зависимой переменной при различных результатах выполнения пробы Розенбаха, однако эта закономерность не достигает статистической значимости. Значимость всей модели находится на уровне тенденции.

Альтернативная модель для предсказания алгебраических способностей с использованием КППП представлена в Таблице 12.

Таблица 12. Связь результатов выполнения тестов и проб на асимметрию моторного, слухового (КПРП) и зрительного анализаторов (с учётом взаимодействия) с алгебраическими способностями

|                                                                                          | Оценка  | Стандартная ошибка | t       | p       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|---------|
| Базовый уровень                                                                          |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация) – 0<br>КПРП – 0<br>Проба Розенбаха – А                  | 1,0345  | 0,7170             | 1,4430  | 0,1601  |
| Изменения по сравнению с базовым уровнем                                                 |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация)                                                         | -0,1793 | 0,2514             | -0,7130 | 0,4816  |
| КПРП                                                                                     | -0,0119 | 0,0135             | -0,8800 | 0,3862  |
| Проба Розенбаха – Л                                                                      | -3,1723 | 1,6892             | -1,8780 | 0,0708  |
| Проба Розенбаха – П                                                                      | -2,4006 | 0,8695             | -2,7610 | 0,0101* |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | -0,5521 | 0,5443             | -1,0140 | 0,3192  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | 0,5754  | 0,3525             | 1,6320  | 0,1138  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. КПРП                             | 0,0478  | 0,0353             | 1,3520  | 0,1873  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. КПРП                             | 0,0431  | 0,0162             | 2,6510  | 0,0131* |
| Множественный $R^2$ : 0,4388, скорректированный $R^2$ : 0,2785                           |         |                    |         |         |
| F(8, 28): 2,737, p = 0,023                                                               |         |                    |         |         |

Алгебраические способности значимо снижаются при наличии правого показателя в пробе Розенбаха. При наличии левого показателя также отмечается снижение, находящееся на уровне тенденции. При наличии правого или левого показателей в пробе Розенбаха КПРП положительно связан с алгебраическими способностями, при наличии билатерального – отрицательно. Статистически значимой является только положительная связь КПРП с алгебраическими способностями при наличии правого показателя в пробе Розенбаха. Как и в предыдущей модели, имеет место разнонаправленная связь мануальной асимметрии и алгебраических способностей при различных результатах выполнения пробы Розенбаха, однако эта закономерность не достигает статистической значимости. Модель в целом статистически значима.

Для геометрических способностей не удалось построить значимую модель с использованием КПП. Модель для предсказания геометрических способностей с использованием КПУ представлена ниже (Таблица 13).

Таблица 13. Связь результатов выполнения тестов и проб на асимметрию моторного, слухового (КПУ) и зрительного анализаторов (с учётом взаимодействия) с геометрическими способностями

|                                                                        | Оценка  | Стандартная ошибка | t       | p        |
|------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|----------|
| Базовый уровень                                                        |         |                    |         |          |
| Опросник М. Аннетт (модификация) – 0<br>КПУ – 0<br>Проба Розенбаха – А | 0,1783  | 0,2458             | 0,7260  | 0,4728   |
| Изменения по сравнению с базовым уровнем                               |         |                    |         |          |
| Опросник М. Аннетт (модификация)                                       | 0,2604  | 0,1424             | 1,8280  | 0,0758   |
| КПУ                                                                    | -0,0762 | 0,0237             | -3,2150 | 0,0028** |
| Проба Розенбаха – Л                                                    | -0,4131 | 0,3931             | -1,0510 | 0,3004   |
| Проба Розенбаха – П                                                    | -0,0602 | 0,2934             | -0,2050 | 0,8385   |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. КПУ            | 0,0864  | 0,0308             | 2,8100  | 0,0080** |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. КПУ            | 0,0971  | 0,0247             | 3,9290  | 0,0004** |
| Множественный $R^2$ : 0,4147, скорректированный $R^2$ : 0,3172         |         |                    |         |          |
| F(6, 36): 4,251, p = 0,0025                                            |         |                    |         |          |

В данной модели хорошо видно взаимодействие факторов слуховой и зрительной асимметрий. При билатеральном показателе в пробе Розенбаха КПУ связан с геометрическими способностями отрицательно, а при левом и правом показателях – положительно. Кроме этого, на уровне тенденции отмечается связь мануальной асимметрии с геометрическими способностями при билатеральном показателе в пробе Розенбаха. Модель в целом статистически значима.

Модель для предсказания математических способностей в целом с использованием КПУ представлена в Таблице 14.

Таблица 14. Связь результатов выполнения тестов и проб на асимметрию моторного, слухового (КПУ) и зрительного анализаторов (с учётом взаимодействия) с математическими способностями

|                                                                                          | Оценка  | Стандартная ошибка | t       | p       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|---------|
| Базовый уровень                                                                          |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация) – 0<br>КПУ – 0<br>Проба Розенбаха – А                   | 0,5318  | 0,2314             | 2,2990  | 0,0278* |
| Изменения по сравнению с базовым уровнем                                                 |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация)                                                         | 0,1090  | 0,2234             | 0,4880  | 0,6287  |
| КПУ                                                                                      | -0,0435 | 0,0223             | -1,9520 | 0,0592  |
| Проба Розенбаха – Л                                                                      | -0,9518 | 0,3999             | -2,3800 | 0,0231* |
| Проба Розенбаха – П                                                                      | -0,2461 | 0,2838             | -0,8670 | 0,3919  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | -0,5581 | 0,4872             | -1,1450 | 0,2600  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | 0,3220  | 0,2872             | 1,1210  | 0,2700  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. КПУ                              | 0,0461  | 0,0291             | 1,5870  | 0,1218  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. КПУ                              | 0,0604  | 0,0232             | 2,6000  | 0,0137* |
| Множественный $R^2$ : 0,3881, скорректированный $R^2$ : 0,2441                           |         |                    |         |         |
| F(8, 34): 2,695, p = 0,0206                                                              |         |                    |         |         |

На базовом уровне независимых переменных среднее стандартизированное значение математических способностей значимо отличается от среднего по выборке. При наличии левого показателя в пробе Розенбаха оно значимо снижается. При билатеральном показателе в пробе Розенбаха КПУ негативно связан с математическими способностями на уровне тенденции. При наличии правого показателя в пробе Розенбаха имеет место значимая положительная связь КПУ с математическими способностями. Модель в целом статистически значима.

Альтернативная модель для предсказания математических способностей в целом с использованием КППП представлена ниже (Таблица 15).

Таблица 15. Связь результатов выполнения тестов и проб на асимметрию моторного, слухового (КПРП) и зрительного анализаторов (с учётом взаимодействия) с математическими способностями

|                                                                                          | Оценка  | Стандартная ошибка | t       | p       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|---------|
| Базовый уровень                                                                          |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация) – 0<br>КПРП – 0<br>Проба Розенбаха – А                  | -0,0769 | 0,4851             | -0,1580 | 0,8752  |
| Изменения по сравнению с базовым уровнем                                                 |         |                    |         |         |
| Опросник М. Аннетт (модификация)                                                         | 1,3226  | 0,5714             | 2,3150  | 0,0279* |
| КПРП                                                                                     | 0,0065  | 0,0094             | 0,6980  | 0,4908  |
| Проба Розенбаха – Л                                                                      | -0,6736 | 0,3967             | -1,6980 | 0,1002  |
| Проба Розенбаха – П                                                                      | 0,0004  | 0,2965             | 0,0020  | 0,9988  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Опросник М. Аннетт (модификация)<br>2. КПРП                | -0,0205 | 0,0104             | -1,9670 | 0,0588  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | -0,7337 | 0,4910             | -1,4940 | 0,1459  |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | 0,2091  | 0,3309             | 0,6320  | 0,5324  |
| Множественный $R^2$ : 0,3592, скорректированный $R^2$ : 0,2045                           |         |                    |         |         |
| F(7, 29): 2,322, p = 0,0521                                                              |         |                    |         |         |

В данной модели на уровне тенденции проявляется взаимодействие мануальной асимметрии и КПРП при билатеральном показателе в пробе Розенбаха. Кроме этого, мануальная асимметрия значимо положительно связана с математическими способностями при билатеральном показателе в пробе Розенбаха. При наличии левого или правого показателей в пробе Розенбаха отмечается разнонаправленная связь мануальной асимметрии и математических способностей, однако она не достигает статистической значимости. Значимость всей модели находится на уровне тенденции.

Для внимания не удалось построить значимую модель с использованием КПУ. Модель для предсказания внимания с использованием КПРП представлена ниже (Таблица 16).

Таблица 16. Связь результатов выполнения тестов и проб на асимметрию моторного, слухового (КПРП) и зрительного анализаторов (с учётом взаимодействия) с вниманием

|                                                                                          | Оценка  | Стандартная ошибка | t       | p        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|----------|
| Базовый уровень                                                                          |         |                    |         |          |
| Опросник М. Аннетт (модификация) – 0<br>КПРП – 0<br>Проба Розенбаха – А                  | 1,3400  | 0,6517             | 2,0560  | 0,0492*  |
| Изменения по сравнению с базовым уровнем                                                 |         |                    |         |          |
| Опросник М. Аннетт (модификация)                                                         | -0,3074 | 0,2286             | -1,3450 | 0,1895   |
| КПРП                                                                                     | -0,0210 | 0,0122             | -1,7150 | 0,0974   |
| Проба Розенбаха – Л                                                                      | -3,1145 | 1,5356             | -2,0280 | 0,0521   |
| Проба Розенбаха – П                                                                      | -1,3804 | 0,7904             | -1,7460 | 0,0917   |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | 0,0943  | 0,4948             | 0,1910  | 0,8503   |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. Опросник М. Аннетт (модификация) | 1,0307  | 0,3205             | 3,2160  | 0,0033** |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – Л<br>2. КПРП                             | 0,0577  | 0,0321             | 1,7970  | 0,0831   |
| Взаимодействие факторов<br>1. Проба Розенбаха – П<br>2. КПРП                             | 0,0301  | 0,0148             | 2,0400  | 0,0509   |
| Множественный $R^2$ : 0,3795, скорректированный $R^2$ : 0,2022                           |         |                    |         |          |
| F(8, 28): 2,141, p = 0,0653                                                              |         |                    |         |          |

На базовом уровне независимых переменных среднее стандартизированное значение внимания значительно отличается от среднего по выборке. На уровне тенденции наличие левого или правого показателей в пробе Розенбаха приводит к снижению внимания. При наличии правого показателя в пробе Розенбаха мануальная асимметрия положительно связана с вниманием. Взаимодействие КПРП и зрительной асимметрии проявляется на уровне тенденции: при билатеральном показателе в пробе Розенбаха увеличение КПРП сопровождается снижением внимания, а при правом или левом показателе в пробе Розенбаха – повышением. Значимость всей модели находится на уровне тенденции.

Дополнительно мы проверили, связано ли совпадение показателей латерализации разных анализаторов с математическими способностями. Испытуемые были разделены на группы по принципу совпадения зрительной и слуховой асимметрии, мануальной и зрительной асимметрии, мануальной и слуховой асимметрии. Мануальная асимметрия оценивалась путём перевода сырого балла по модификации опросника М. Аннетт в

категориальную шкалу по правилу: меньше -8 – «Л», от -8 до 8 включительно – «А», больше 8 – «П». Зрительная асимметрия оценивалась по пробе Розенбаха. Слуховая асимметрия оценивалась путём перевода количественных оценок общего КПУ в категориальную шкалу по правилу:  $\text{КПУ} < -8$  – «Л»,  $-8 \leq \text{КПУ} \leq 8$  – «А»,  $\text{КПУ} > 8$  – «П». Ниже (Таблица 17) приведены статистически значимые результаты сравнения средних значений.

Таблица 17. Связь совпадения функциональных асимметрий с результатами выполнения теста МААГС-2015

|                                    | Арифметические способности                                                                                                                                                                                | Геометрические способности                                                                                                                                                                                 | Математические способности                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Слуховая и зрительная асимметрии   | Совпадают ( $n = 26$ )<br>$0,393 \pm 0,8727$<br>Не совпадают ( $n = 29$ )<br>$-0,2343 \pm 0,8075$<br><br>$F(1, 53) = 7,668$<br>$(p = 0,008)$<br><br>$R^2 = 0,1264$<br>(скорректированный $R^2 = 0,1099$ ) | Совпадают ( $n = 26$ )<br>$0,3394 \pm 0,6733$<br>Не совпадают ( $n = 29$ )<br>$-0,2991 \pm 0,9611$<br><br>$F(1, 53) = 7,965$<br>$(p = 0,007)$<br><br>$R^2 = 0,1307$<br>(скорректированный $R^2 = 0,1143$ ) | Совпадают ( $n = 26$ )<br>$0,4446 \pm 0,6983$<br>Не совпадают ( $n = 29$ )<br>$-0,1947 \pm 0,7587$<br><br>$F(1, 53) = 10,49$<br>$(p = 0,002)$<br><br>$R^2 = 0,1652$<br>(скорректированный $R^2 = 0,1495$ ) |
| Зрительная и мануальная асимметрии | Нет связи                                                                                                                                                                                                 | Совпадают ( $n = 32$ )<br>$0,1884 \pm 0,8705$<br>Не совпадают ( $n = 31$ )<br>$-0,3285 \pm 0,9517$<br><br>$F(1, 61) = 5,066$<br>$(p = 0,028)$<br><br>$R^2 = 0,0767$<br>(скорректированный $R^2 = 0,0615$ ) | Совпадают ( $n = 32$ )<br>$0,3171 \pm 0,7119$<br>Не совпадают ( $n = 31$ )<br>$-0,1228 \pm 0,8586$<br><br>$F(1, 61) = 4,916$<br>$(p = 0,03)$<br><br>$R^2 = 0,0746$<br>(скорректированный $R^2 = 0,0594$ )  |

Ещё один метод анализа предполагал разделение испытуемых на группы по типу ПЛЮ. При определении ПЛЮ принимались во внимание самоотчёт испытуемого, результаты модификации опросника М. Аннетт, дихотического прослушивания и пробы Розенбаха. Ведущая рука считалась правой, если сам испытуемый считал себя правой и сырой балл по модификации опросника М. Аннетт был больше 8. Билатеральность в мануальной сфере фиксировалась в том случае, если сам испытуемый считал себя правой, но его сырой балл по модификации опросника М. Аннетт был не больше 8. Ведущая рука считалась левой, если сам испытуемый считал себя левшой, при этом результаты опросника не учитывались (ни у кого из левшей по самоотчёту сырой балл по

опроснику не был выше 8). Ведущее ухо считалось правым, если КПУ был больше 8, левым – если меньше -8, билатеральность в слуховой сфере фиксировалась в том случае, если КПУ находился в диапазоне от -8 до 8 включительно. Ведущий глаз определялся по пробе Розенбаха. Как пишет Е.Д. Хомская с соавторами (1997, с. 30), «по соотношению всех трёх видов асимметрий, определяемых по схеме "рука – ухо – глаз", теоретически могут быть выделены следующие варианты профилей: ППП, ППА, ПАП, ПАА, ПАЛ, ПЛА, ППЛ, ПЛП, ПЛЛ (П – преобладание правой функции, Л – левой, А – равенство функций), которые характеризуют различные варианты "правшества"; ЛЛЛ, ЛПП, ЛПЛ, ЛЛП, ЛАП, ЛПА, ЛЛА, ЛАЛ, ЛАА, характеризующие "левшество". Помимо этих типов могут быть выделены профили асимметрий, отражающие приблизительное равенство левой и правой рук (амбидекстры) при различных соотношениях слуховых и зрительных функций – ААА, АПП, АПА, ААП, АПЛ, АЛП, ААЛ, АЛА, АЛЛ». Из 27 теоретически возможных профилей в нашей выборке было выделено 15 профилей со следующим числом испытуемых в каждом: ААА – 1, ААП – 2, ЛАА – 2, ЛАЛ – 1, ЛАП – 3, ЛЛП – 1, ПАА – 8, ПАЛ – 2, ПАП – 8, ПЛА – 1, ПЛЛ – 2, ПЛП – 5, ППА – 3, ППЛ – 3, ППП – 13. При укрупнении профилей в три группы число испытуемых распределилось следующим образом: «правши» – 45, «левши» – 7, «амбидекстры» – 3. В Таблице 18 указаны средние и стандартные отклонения по шкалам теста МААГС-2015 для каждого из имевшихся в выборке типов ПЛО. Для профилей ААА, ЛАЛ, ЛЛП, ПЛА стандартные отклонения не указаны, т.к. каждый из этих профилей представлен только одним испытуемым.

При анализе результатов по шкалам «Арифметика», «Алгебра», «Математика» и «Внимание» дисперсионный анализ не выявил значимых различий между группами, апостериорный анализ с использованием критерия Тьюки также не выявил значимых попарных различий. В отношении шкалы «Геометрия» дисперсионный анализ указывает на наличие значимых различий между группами:  $F(14, 40) = 2,01$ ,  $p = 0,0425$ . Апостериорный анализ с использованием критерия Тьюки выявляет значимые попарные различия только между группами ППП и ППА ( $p = 0,0385$ ).

Для дополнительного анализа были использованы укрупнённые группы – «правши» и «не правши» («левши» и «амбидекстры»). Арифметические способности были статистически незначимо выше у «правшей» ( $0,0858 \pm 0,9023$ ), чем у «не правшей» ( $-0,0438 \pm 0,8652$ ). Алгебраические способности были статистически незначимо выше у «правшей» ( $0,2001 \pm 0,8383$ ), чем у «не правшей» ( $-0,2282 \pm 0,8746$ ). Геометрические способности оказались выше у «правшей» ( $0,112 \pm 0,8824$ ), чем у «не правшей» ( $-0,4888 \pm 0,7872$ ), значимость различий на уровне тенденции:  $F(1, 53) = 3,929$ ,  $p = 0,0527$ . Математические способности в целом оказались выше у «правшей» ( $0,1982 \pm 0,7642$ ), чем

у «не правой» ( $-0,3005 \pm 0,8285$ ), значимость различий на уровне тенденции:  $F(1, 53) = 3,383$ ,  $p = 0,0715$ . Внимание было выше у «правой» ( $0,1397 \pm 0,7393$ ), чем у «не правой» ( $-0,3618 \pm 0,8746$ ), значимость различий на уровне тенденции:  $F(1, 53) = 3,526$ ,  $p = 0,0659$ . Заметим, что во всех случаях преимущество отмечалось у «правой», однако нигде значимость различий не достигала уровня 0,05.

Таблица 18. Результаты выполнения теста МААГС-2015 при разных типах профиля латеральной организации (рука-ухо-глаз)

| ПЛО | Арифметика              | Алгебра                 | Геометрия               | Математика<br>(суммарная<br>шкала) | Внимание                |
|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| ААА | 1,0422                  | 0,8809                  | 0,0339                  | 0,813                              | 0,4407                  |
| ААП | -0,968<br>$\pm 0,5829$  | -1,1442<br>$\pm 0,2852$ | -0,3455<br>$\pm 0$      | -1,0511<br>$\pm 0,4653$            | -1,0598<br>$\pm 0,3356$ |
| ЛАА | 0,494<br>$\pm 0,7753$   | 0,3759<br>$\pm 0,7142$  | -0,1558<br>$\pm 0,2683$ | 0,2898<br>$\pm 0,4673$             | -0,4282<br>$\pm 1,2288$ |
| ЛАЛ | -0,0542                 | -0,1291                 | -1,6068                 | -0,5877                            | 0,4407                  |
| ЛАП | 0,3008<br>$\pm 0,3074$  | -0,3272<br>$\pm 1,1254$ | -0,2353<br>$\pm 1,0669$ | -0,1091<br>$\pm 0,8129$            | -0,2337<br>$\pm 1,1682$ |
| ЛЛП | -1,3801                 | -0,5166                 | -1,6068                 | -1,3801                            | -0,8225                 |
| ПАА | 0,5665<br>$\pm 1,0141$  | 0,3939<br>$\pm 1,1346$  | 0,2441<br>$\pm 0,726$   | 0,4938<br>$\pm 0,9668$             | 0,1383<br>$\pm 0,6654$  |
| ПАЛ | -0,2428<br>$\pm 1,0197$ | -0,9877<br>$\pm 1,2142$ | -0,7865<br>$\pm 1,1602$ | -0,7543<br>$\pm 0,475$             | 0,2617<br>$\pm 1,5332$  |
| ПАП | 0,1207<br>$\pm 0,7654$  | 0,2959<br>$\pm 0,8596$  | -0,0164<br>$\pm 0,5921$ | 0,2006<br>$\pm 0,6335$             | 0,2242<br>$\pm 0,6529$  |
| ПЛА | -0,5558                 | 0,5244                  | 0,9967                  | 0,4481                             | 0,4407                  |
| ПЛЛ | 0,0392<br>$\pm 1,4185$  | -0,3229<br>$\pm 0,274$  | 0,2523<br>$\pm 0,3089$  | -0,0685<br>$\pm 0,4948$            | -0,7718<br>$\pm 0,743$  |
| ПЛП | -0,2175<br>$\pm 0,7745$ | -0,0434<br>$\pm 0,805$  | 0,0159<br>$\pm 1,0475$  | -0,0922<br>$\pm 0,6523$            | 0,2095<br>$\pm 0,7015$  |
| ППА | -0,1591<br>$\pm 1,0602$ | -0,1516<br>$\pm 0,3542$ | -1,3739<br>$\pm 1,307$  | -0,5102<br>$\pm 0,7098$            | 0,2843<br>$\pm 0,9193$  |
| ППЛ | -0,8955<br>$\pm 1,0531$ | 0,5836<br>$\pm 1,3405$  | 0,2284<br>$\pm 0,6919$  | 0,0661<br>$\pm 1,2132$             | 0,2843<br>$\pm 0,9193$  |
| ППП | 0,2754<br>$\pm 0,8224$  | 0,3466<br>$\pm 0,5411$  | 0,5113<br>$\pm 0,7314$  | 0,4887<br>$\pm 0,6075$             | 0,0934<br>$\pm 0,8009$  |

## 5.5. Обсуждение результатов исследования

Латеральные признаки в мануальной и зрительной сферах статистически значимо не связаны с компонентами математических способностей. Отдельные закономерности проявляются на уровне тенденции. Арифметические, геометрические и математические способности в целом несколько выше при наличии левого показателя в пробе «Переплетение пальцев рук». Ранее мы отмечали, что эта проба, по-видимому, работает

наоборот: левый показатель соответствует моторному мануальному правшеству, а не левшеству. Геометрические способности также оказались несколько выше при правом показателе в пробе «Поза Наполеона» и правшестве по самоотчёту.

Значимые связи обнаружены при сопоставлении математических способностей с результатами дихотического прослушивания. Алгебраические, геометрические и математические способности в целом возрастают при увеличении правосторонней латерализации в слухоречевой сфере. Более значимым предиктором выступает КПП, а не КПУ. Для алгебраических способностей значимыми предикторами являются результаты по обеим сериям дихотического прослушивания и по всему дихотическому прослушиванию, для геометрических – только по второй серии, для математических способностей в целом – по первой серии и по всему дихотическому прослушиванию.

Интегральный показатель межполушарной асимметрии, отражающий общий уровень межполушарной асимметрии без выделения функциональной латерализации отдельных анализаторных систем, оказался значимым предиктором для геометрических и математических способностей в целом, позволив объяснить 16,4% и 13% дисперсии соответственно. При удалении из выборки лиц с невыраженной правосторонней латерализацией проявляется связь этого показателя с алгебраическими способностями (19,7% объяснённой дисперсии), а процент объяснённой дисперсии геометрических и математических способностей в целом меняется до 14,4% и 24,5% соответственно. Нелинейность закономерности позволяет предполагать, что наиболее неблагоприятным для математических способностей является не левшество, а слабовыраженное правшество (наличие левосторонних латеральных признаков при общем правшестве).

Все эти результаты свидетельствуют о том, что математические способности выше у лиц с накоплением правосторонних латеральных признаков. Однако сила связи между параметрами межполушарной асимметрии и компонентами математических способностей крайне мала. В лучшем случае отдельные показатели межполушарной асимметрии могут объяснить до 10% вариативности математических способностей.

Регрессионные модели, включающие в качестве предикторов все латеральные признаки, представленные категориальными переменными, позволили объяснить примерно четверть дисперсии математических способностей. Существенное расхождение между множественным и скорректированным коэффициентами детерминации обусловило необходимость сокращения числа предикторов до трёх независимых переменных, отражающих функциональную асимметрию в моторной, слухоречевой и зрительной сферах. Была обнаружена значимая связь сочетаний показателей межполушарной асимметрии в зрительной и слухоречевой сферах с арифметическими, алгебраическими и

геометрическими способностями, а также с математическими способностями в целом. В большинстве моделей также проявился слабый эффект влияния сочетаний показателей межполушарной асимметрии в мануальной и зрительной сферах. Построенные модели позволили в среднем объяснить около четверти вариативности компонентов математических способностей.

Обнаружено, что совпадение асимметрий в слуховой и зрительной сферах положительно связано с арифметическими, геометрическими и математическими способностями в целом, а совпадение асимметрий в мануальной и зрительной сферах положительно связано с геометрическими и математическими способностями в целом. Соответствующие модели объясняют до 15% дисперсии компонентов математических способностей, причём более существенным является совпадение сенсорных асимметрий.

Разделение испытуемых на группы по типу ПЛО выявило значимые различия только в отношении геометрических способностей. Испытуемые с правосторонними признаками во всех трёх сферах в среднем продемонстрировали более высокие геометрические способности, чем испытуемые с правосторонними признаками в мануальной и слухоречевой сферах и билатеральностью в зрительной сфере. При разделении испытуемых на укрупнённые группы «правши» и «не правши» («левши» и «амбидекстры») по всем компонентам математических способностей преимущество отмечалось у «правшей», однако нигде различия не достигали статистической значимости.

Большинство выявленных закономерностей специфичны в отношении компонентов математических способностей и не проявляются в отношении внимания.

На наш взгляд, небольшое преимущество в математических способностях лиц с накоплением правосторонних латеральных признаков объясняется ориентацией традиционного школьного образования на левополушарные механизмы работы с информацией. Как пишет А.Н. Ждан (2005, с. 478), «...в условиях западной цивилизации с упором в образовании, главным образом, на приобретение вербальных навыков и развитие аналитической мысли обеспечивается развитие способностей, главным образом, левого полушария, в результате другая половина мозга практически игнорируется...». Алгебраические действия чаще всего начинают осваиваться после окончания начальной школы, а разделение школьной математики на алгебру и геометрию возникает с 7 класса. Ориентация традиционной системы образования на вербально-символическое кодирование информации приводит к тому, что алгебраические действия становятся центральным звеном математического мышления. Хотя геометрическая деятельность связана с оперированием пространственными представлениями, преимущественно обеспечиваемыми правополушарными механизмами, освоение геометрии в школе во

многим опирается на использование формального языка, а большинство геометрических задач могут быть решены алгебраическими средствами. Соотношение вклада вербально-символического кодирования и пространственных представлений в геометрическую деятельность варьирует в зависимости от учебной программы, предпочтений учителя и ученика. Заметим, что арифметические способности в меньшей степени связаны с функциональным доминированием левого полушария. Элементарные арифметические представления обычно осваиваются в дошкольный период развития, когда правополушарные механизмы играют большую роль в обеспечении познавательной деятельности, чем в более позднем возрасте.

Альтернативное (но не взаимоисключающее) объяснение преимущества в математических способностях лиц с накоплением правосторонних показателей межполушарной асимметрии заключается в том, что левосторонние латеральные признаки могут свидетельствовать о наличии ранних мозговых повреждений, возникших на этапах пренатального и перинатального развития (патологическое левшество по В.А. Москвину и Н.В. Москвиной, 1998). Хотя к юношескому возрасту большинство подобных повреждений компенсируется, необходимость такой компенсации может приводить к менее эффективному развитию познавательных способностей в целом.

Тот факт, что взаимодействие асимметрий в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах в большей степени обуславливает выраженность математических способностей, чем отдельные асимметрии, подтверждает наше предположение о межмодальной природе функциональной латерализации анализаторов, выдвинутое на основе результатов предварительных исследований. Некоторые авторы считают несовпадение асимметрий отклонением от нормы, свидетельствующем о задержке в формировании процесса латерализации: «При чёткой латерализации выявляется предпочтение в использовании одной стороны в работе парных сенсо-моторных органов (единообразно): при правосторонней латералите – правой руки, ноги, правого глаза, уха; при левосторонней – левых рецепторов. Перекрёстная, или порочная, латерализация обнаруживает себя в случаях, когда у ребёнка, например, при ведущей правой руке ведущим является левый глаз и т.п.» (Садовникова, 2011, с. 14). По всей видимости, несовпадение асимметрий в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах затрудняет совместную обработку информации, поступающей через разные анализаторы. Хотя эти затруднения практически не влияют на повседневную жизнь человека, в сенсibilизированных условиях они могут снижать эффективность познавательной деятельности.

## 5.6. Выводы

Проведённое исследование показало, что отдельные латеральные признаки практически не связаны с компонентами математических способностей. Имеет место положительная связь слуховой асимметрии (прежде всего коэффициента продуктивности правого уха) с различными компонентами математических способностей, объясняющая в среднем примерно 10% дисперсии. Использование интегрального показателя межполушарной асимметрии позволяет объяснить примерно 20% дисперсии математических способностей, причём эта закономерность сильнее выражена для лиц с накоплением признаков функционального доминирования левого полушария (для «правшей»). «Правши» по ПЛО (испытываемые с ведущей правой рукой) также демонстрируют более высокие результаты по всем компонентам математических способностей по сравнению с «не правшами» (испытываемыми с ведущей левой рукой или относительной билатеральностью в мануальной сфере), хотя статистическая значимость этих различий в лучшем случае находится на уровне тенденции. Полученные результаты указывают на то, что степень функционального доминирования левого полушария в целом связана с математическими способностями, однако сила этой связи достаточно мала.

Учёт межфакторного взаимодействия, отражающего наличие различных сочетаний латеральных признаков, позволяет в среднем объяснить около 25% дисперсии. Кроме этого, с математическими способностями положительно связано совпадение функциональных асимметрий разных анализаторов. Наиболее существенным является совпадение / несовпадение сенсорных асимметрий (слуховой и зрительной) – оно определяет примерно 15% дисперсии математических способностей.

Таким образом, результаты исследования позволяют принять гипотезу, согласно которой статистическое взаимодействие (сочетание) латеральных признаков, отражающих функциональную межполушарную асимметрию в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах, является фактором выраженности компонентов математических способностей, причём оно позволяет объяснить большую долю их вариативности, чем отдельные латеральные признаки. В связи с этим возникает необходимость более подробного исследования психической репрезентации взаимодействия анализаторов не только на уровне статистических связей между показателями асимметрий в соответствующих сферах, но и при анализе непосредственно протекающего межмодального взаимодействия.

## Глава 6

### Эмпирическое исследование связи межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок с математическими способностями

#### 6.1. Проблема, цель и задачи исследования

Представленное в предыдущей главе исследование связи латеральных признаков и их взаимодействия (сочетаний) с математическими способностями показало, что одновременный учёт асимметрий разных анализаторов позволяет объяснить больше вариативности математических способностей, чем отдельные латеральные признаки. В связи с этим мы предположили, что математические способности связаны не столько с функциональной межполушарной асимметрией, сколько с межанализаторным взаимодействием, на психологическом уровне проявляющимся в виде межмодального взаимодействия. Анализ литературных данных (глава 3) свидетельствует о том, что межмодальное взаимодействие играет существенную роль в организации математических способностей, однако до сих не проводилось нейропсихологических исследований, которые могли бы верифицировать это предположение. Связь асимметрий разных анализаторов ещё нельзя считать однозначным индикатором межмодального взаимодействия; она свидетельствует о нём лишь косвенно. Сочетания латеральных признаков могут указывать на статичную организацию параметров анализаторных систем, сформировавшуюся в определённый период индивидуального развития, но ничего не говорят о динамике межанализаторного взаимодействия, обеспечивающей текущую познавательную деятельность человека. В связи с этим необходимо исследовать межмодальное взаимодействие непосредственно, учтя наличие межполушарных и внутриполушарных связей между анализаторами.

Обсуждая развитие мышление и речи, Л.С. Выготский (1982б) выдвинул принцип, согласно которому психика должна изучаться не по элементам, а по единицам, сохраняющим свойства целого. Следуя этому принципу, мы предлагаем в качестве единицы анализа межполушарного и внутриполушарного межмодального взаимодействия рассматривать межмодальные перешифровки, протекающие как внутри одного полушария, так и между полушариями головного мозга. Эффективность таких перешифровок, с одной стороны, является индикатором межмодального взаимодействия, с другой стороны, указывает на специфику межполушарных отношений. Есть основания полагать, что использование в качестве основы нейропсихологической типологии индивидуальных различий эффективности межмодальных перешифровок, позволит

выявить новые закономерности, которые не могли быть обнаружены при исследовании сочетаний латеральных признаков.

Нами были выдвинуты следующие гипотезы:

1) Выраженность математических способностей связана с общей эффективностью межполушарных и внутриполушарных перешифровок информации между слуховой, слухоречевой и зрительной модальностями.

2) Имеются межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки, обладающие специфичностью связи с арифметическим, алгебраическим и геометрическим компонентами математических способностей.

3) Выраженность математических способностей связана с эффективностью функционирования как левого, так и правого полушария, а также с межполушарным взаимодействием, при этом вклад каждого из этих факторов в обеспечение разных компонентов математических способностей неодинаков.

Цель исследования состояла в выявлении межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок, эффективность которых обуславливает вариативность математических способностей в юношеском возрасте (15-25 лет). В соответствии с целями исследования были поставлены следующие задачи:

1) Разработка нейропсихологической методики для измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок;

2) Диагностика эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок;

3) Измерение математических способностей и их компонентов (арифметических, алгебраических и геометрических способностей);

4) Построение регрессионных моделей, предсказывающих математические способности по эффективности отдельных межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок;

5) Построение регрессионных моделей, предсказывающих математические способности по эффективности перешифровки информации между полушариями и внутри полушарий;

6) Построение регрессионных моделей, предсказывающих математические способности по эффективности перешифровки информации между разными модальностями и внутри одной модальности;

7) Построение регрессионных моделей, предсказывающих математические способности по суммарной эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок;

8) Сравнение предсказательной способности построенных моделей с предсказательной способностью интереса к математической деятельности по отношению к математическим способностям.

Материалы аналогичного исследования, проведённого на меньшей выборке, представлены в наших публикациях (Хохлов, 2016; Хохлов, Ковязина, 2016а). Материалы данного исследования частично представлены в нашей статье (Хохлов, Ковязина, 2017).

## **6.2. Характеристика испытуемых**

В исследовании приняли участие 78 человек в возрасте от 15 до 25 лет (средний возраст –  $18,2 \pm 2,9$ ), из них 24 юноши и 54 девушки с образованием не ниже основного общего (9 классов). На момент исследования испытуемые не имели неврологических или психических заболеваний, черепно-мозговых травм, сотрясений мозга, нарушений слуха или нескорректированных нарушений зрения. 40 человек обучались в 12 образовательных организациях среднего общего или профессионального образования. В г. Москве – ГБОУ СОШ №1106, ГБОУ СОШ №1352, ГБОУ СОШ №1909, ГБОУ «Школа №319», ГБОУ «Школа №2128 "Энергия"», ГБОУ «Школа с углубленным изучением английского языка №1256 имени Героя Советского Союза И.С. Полбина», ГБОУ лицей №1561, колледж ГМПИ им. М.М. Ипполитова-Иванова, Московский строительный колледж №38, Колледж предпринимательства №11, в г. Санкт-Петербурге – Колледж строительной индустрии и городского хозяйства, в г. Лобне – МБОУ СОШ №10. Все испытуемые на момент проведения исследования имели образование не ниже основного общего (9 классов). 29 человек обучались в московских вузах на нематематических специальностях (МГУ имени М.В. Ломоносова, МПГУ, Московский университет имени С.Ю. Витте, МЭИ, РГУНГ имени И.М. Губкина, РАНХиГС). Одна испытуемая имела полное среднее образование и на момент исследования нигде не обучалась. 8 человек являлись выпускниками вузов (МГУ имени М.В. Ломоносова, МФПУ «Синергия») и имели высшее образование по нематематическим специальностям. Все испытуемые входили в выборку, задействованную в исследовании связи латеральных признаков и их взаимодействия (сочетаний) с математическими способностями (см. предыдущую главу). Подробные сведения об испытуемых приведены в Приложении 2.

## **6.3. Методы и методики исследования**

Для измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок использовалась авторская методика (Хохлов, 2015б, Хохлов, Ковязина, 2016а). Идея подобной методики была заложена А.Р. Лурией (1962),

предложившим использовать приём оценки восприятия и воспроизведения ритмических структур, подаваемых непосредственно или по речевой инструкции. В дальнейшем методика была модифицирована В.И. Насоновой (1979), добавившей в пробу зрительные схемы, графически изображающие требуемые ритмические структуры. Позднее методика была дополнительно модифицирована М.А. Безбородовой (2014), разработавшей систему количественной оценки выполнения заданий. На основе этих модификаций мы предложили свою схему оценки межмодальных связей с учётом межполушарной асимметрии (Ковязина, Хохлов, 2014; Хохлов, Ковязина, 2015).

Созданная нами методика предназначена для оценки эффективности внутриполушарных и межполушарных межмодальных перешифровок при участии трёх анализаторов – слухового речевого (Р), слухового неречевого (С), зрительного (З). Мы отдаём себе отчёт в том, что у человека существует единый слуховой анализатор (совокупность соматических, рецепторных и нервных структур, деятельность которых обеспечивает восприятие звуковых колебаний). В данной работе мы используем два различающихся понятия «слуховой речевой анализатор» и «слуховой неречевой анализатор», имея в виду тот факт, что «у человека имеются две относительно самостоятельные слуховые системы: неречевого и речевого слуха» (Хомская и др., 2011, с. 30).

Всего измеряются 30 переменных (например, перешифровка из слуховой неречевой модальности с левой стороны в слуховую речевую с левой стороны, из зрительной модальности с правой стороны в слуховую речевую с левой стороны и т.п.). Далее для их обозначения мы используем сокращения из 4 букв, где первая буква обозначает входную модальность, вторая – сторону подачи входного сигнала, третья – исходящую модальность, в которую производится перешифровка, четвёртая – сторону перешифровки. Например, СЛЗП – перешифровка из слуховой неречевой модальности с левой стороны в зрительную с правой стороны.

1. Слуховая неречевая (Л) → слуховая речевая (Л) – СЛРЛ
2. Слуховая неречевая (Л) → зрительная (Л) – СЛЗЛ
3. Слуховая неречевая (Л) → слуховая речевая (П) – СЛРП
4. Слуховая неречевая (Л) → зрительная (П) – СЛЗП
5. Слуховая неречевая (П) → слуховая речевая (Л) – СПРЛ
6. Слуховая неречевая (П) → зрительная (Л) – СПЗЛ
7. Слуховая неречевая (П) → слуховая речевая (П) – СПРП
8. Слуховая неречевая (П) → зрительная (П) – СПЗП
9. Слуховая речевая (Л) → слуховая неречевая (Л) – РЛСЛ

10. Слуховая речевая (Л) → зрительная (Л) – РЛЗЛ
11. Слуховая речевая (Л) → слуховая неречевая (П) – РЛСП
12. Слуховая речевая (Л) → зрительная (П) – РЛЗП
13. Слуховая речевая (П) → слуховая неречевая (Л) – РПСЛ
14. Слуховая речевая (П) → зрительная (Л) – РПЗЛ
15. Слуховая речевая (П) → слуховая неречевая (П) – РПСП
16. Слуховая речевая (П) → зрительная (П) – РПЗП
17. Зрительная (Л) → слуховая речевая (Л) – ЗЛРЛ
18. Зрительная (Л) → слуховая неречевая (Л) – ЗЛСЛ
19. Зрительная (Л) → слуховая речевая (П) – ЗЛРП
20. Зрительная (Л) → слуховая неречевая (П) – ЗЛСП
21. Зрительная (П) → слуховая речевая (Л) – ЗПРЛ
22. Зрительная (П) → слуховая неречевая (Л) – ЗПСЛ
23. Зрительная (П) → слуховая речевая (П) – ЗПРП
24. Зрительная (П) → слуховая неречевая (П) – ЗПСП
25. Слуховая неречевая (Л) → Слуховая неречевая (П) – СЛСП
26. Слуховая неречевая (П) → Слуховая неречевая (Л) – СПСЛ
27. Зрительная (Л) → Зрительная (П) – ЗЛЗП
28. Зрительная (П) → Зрительная (Л) – ЗПЗЛ
29. Слуховая речевая (Л) → Слуховая речевая (П) – РЛРП
30. Слуховая речевая (П) → Слуховая речевая (Л) – РПРЛ

Активность полушарий головного мозга трактуется с учётом контралатерального расположения периферийной части анализатора, соответственно, СЛЗП – перешифровка из слуховой неречевой модальности в правом полушарии в зрительную в левом полушарии. Концептуальная схема методики представлена на Рисунке 5.

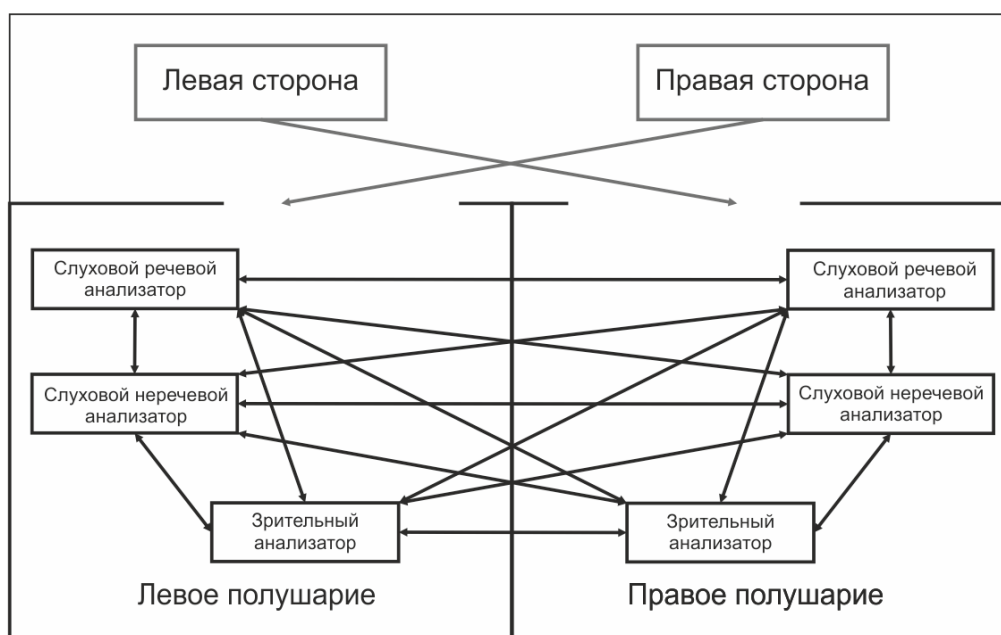


Рисунок 5. Схема методики диагностики эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок

Каждая переменная представлена 3 заданиями. Задание состоит из ключевого стимула и 3 вариантов ответа. Детальная схема заданий приводится в Приложении 3. Все задания предъявляются последовательно, причём задания каждого типа распределены между началом, серединой и концом методики для нивелирования эффекта вработывания / утомления. Методика выполнена в формате презентации Microsoft Office PowerPoint 2007. Каждый стимул или вариант ответа – один слайд. Стимулы (варианты ответа) бывают трёх типов. Первый – слуховая неречевая информация (ритмы), предъявляемая в правое или левое ухо, в другое ухо при этом подаётся фоновая мелодия для подавления ипсилатерального канала. Стимульный материал был создан в программе Arobas Music Guitar Pro 5.2, для записи ритмов использовался инструмент Side Stick, для записи фоновой мелодии – Acoustic Guitar (steel). Второй – слуховая речевая информация (слова-числительные, обозначающие число ударов в ритмической структуре), предъявляемая в правое или левое ухо, в другое ухо при этом подаются фоновые слова для подавления ипсилатерального канала. Аудиозаписи были созданы с помощью речевого синтезатора KooBAudio 2.1.2.3056, использовался мужской голос (тембр ELAN TTS Russian Nicolai 16Khz). Третий – зрительная информация (точки, расположенные вертикально сверху вниз и обозначающие число ударов в ритмической структуре), предъявляемая справа или слева экрана, с другой стороны при этом предъявляется вертикальная полоска зрительного шума для удаления иконического образа. Время предъявления каждого слайда чётко определено и для разных слайдов варьирует от 5 до 8 секунд (для зрительных стимулов

всегда 5 секунд, для звуковых – 6-8 секунд в зависимости от длительности аудиозаписи).  
Выполнение 90 заданий (360 слайдов) занимает около 40 минут.

Перед выполнением методики испытуемый получает следующую инструкцию: «При выполнении данной методики Вам понадобится воспринимать и опознавать ритмы (ритмические структуры). Один и тот же ритм можно представить в звуковом, речевом и зрительном плане. Например, ритм можно отстукивать, называть («один-два-один-три-один») или изобразить точками (• •• • • – демонстрируется вертикально сверху вниз на листе бумаги). Вам будут предъявляться различные ритмы, которые сначала надо будет прослушать или просмотреть, а потом узнать среди трёх вариантов ответа. Каждое задание будет состоять из четырёх слайдов – первый с заданием и далее три варианта ответа, они пронумерованы. На первом слайде с заданием будет написано «СЛУШАЙТЕ» или «СМОТРИТЕ» в зависимости от того, в каком виде будет представлен исходный ритм. Как только Вы поймёте, какой вариант ответа соответствует исходному ритму, назовите его номер или укажите на него. Отвечать надо быстро, т.к. задания будут идти одно за другим без пауз. Звуковая информация будет предъявляться с помехами, на которые надо стараться не обращать внимание. Например, в одном наушнике будет звучать ритм, а в другом музыка (в одном наушнике – речевое обозначение ритма, а в другом – слова). Обращайте внимание только на ритм!». Перед началом выполнения исследователь убеждается, что испытуемый правильно понял инструкцию, при необходимости показывает несколько заданий из разных частей методики в качестве примеров. Испытуемым запрещалось пользоваться какими-либо вспомогательными средствами, в том числе отстукивать ритмы ногой или рукой, проговаривать их вслух, загибать пальцы на руках и т.п. Необходимо было сидеть достаточно близко к экрану монитора и смотреть по центру, не поворачивая голову в правую или левую сторону.

По каждой переменной может быть набрано от 0 до 3 баллов (правильных ответов). Результаты обрабатываются с помощью процентильной стандартизации и представляются в z-оценках. Это позволяет скомпенсировать неодинаковую сложность заданий.

На основе получаемых данных могут быть вычислены вторичные показатели, отражающие эффективность перешифровки информации слева направо (ЛП), справа налево (ПЛ), только слева (ЛЛ), только справа (ПП):

ЛП: СЛРП + СЛЗП + РЛСП + РЛЗП + ЗЛРП + ЗЛСП + СЛСП + ЗЛЗП + РЛРП

ПЛ: СПРЛ + СПЗЛ + РПСЛ + РПЗЛ + ЗПРЛ + ЗПСЛ + СПСЛ + ЗПЗЛ + РПРЛ

ЛЛ: СЛРЛ + СЛЗЛ + РЛСЛ + РЛЗЛ + ЗЛРЛ + ЗЛСЛ

ПП: СПРП + СПЗП + РПСП + РПЗП + ЗПРП + ЗПСП

Также могут быть вычислены вторичные показатели, отражающие эффективность перешифровки из одной модальности в другую и в рамках одной модальности:

РС: РЛСЛ + РЛСП + РПСЛ + РПСП

СР: СЛРЛ + СЛРП + СПРЛ + СПРП

РЗ: РЛЗЛ + РЛЗП + РПЗЛ + РПЗП

ЗР: ЗЛРЛ + ЗЛРП + ЗПРЛ + ЗПРП

СЗ: СЛЗЛ + СЛЗП + СПЗЛ + СПЗП

ЗС: ЗЛСЛ + ЗЛСП + ЗПСЛ + ЗПСП

РР: РЛРП + РПРЛ

СС: СЛСП + СПСЛ

ЗЗ: ЗЛЗП + ЗПЗЛ

Суммарный показатель эффективности выполнения методики (эффективности всех перешифровок в целом) вычисляется путём сложения значений по 30 первичным переменным. При вычислении вторичных показателей получаемые значения повторно подвергаются процентильной стандартизации и переводятся в z-оценки.

Для диагностики математических способностей использовалась электронная версия авторского теста на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015» (Хохлов, 2015е). Тест представляет собой психометрическую методику, предназначенную для диагностики уровня математических способностей у взрослых и подростков, имеющих образование не ниже основного общего (9 классов). Методика позволяет выявлять уровень развития компонентов математических способностей (шкалы «Арифметика», «Алгебра», «Геометрия»), а также определять степень развития математических способностей в целом. В тест включена дополнительная шкала «Внимание», диагностирующая эффективность работы с информацией и текущую концентрацию на выполнении заданий. Подробное описание теста приводится в параграфе 4.7. Тестирование математических способностей проводилось с помощью Интернет-версии методики на базе платформы «Мастер-тесты» интегрированной системы Интернет-сервисов «НТ-Line», предоставленной Инновационным центром «Гуманитарные технологии» (ООО).

Также всем испытуемым задавался вопрос «Интересна ли вам математика как наука, хотелось бы вам заниматься математической деятельностью?», на который нужно было дать однозначный ответ (да / нет). Иногда получению окончательного ответа предшествовало короткое обсуждение вопроса. Мы предполагали, что эффективность межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок окажется более

значимым предиктором математических способностей, чем интерес к математической деятельности.

В подавляющем большинстве случаев испытуемые сначала проходили тест МААГС-2015 (максимальное время прохождения – 54 минуты), а затем в течение месяца приглашались на встречу для выполнения методики измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок (около 40 минут). Обычно эта методика выполнялась непосредственно после выполнения методик исследования сенсорных и моторных асимметрий (см. предыдущее исследование), но в некоторых случаях для этого требовалась дополнительная встреча. В единичных случаях выполнение методики измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок предшествовало прохождению математического теста. Испытуемые были проинформированы о том, что исследование посвящено изучению математических способностей, однако до завершения участия не знали его точной цели и выдвинутых гипотез. По результатам прохождения теста МААГС-2015 предоставлялась обратная связь об уровне развития математических способностей, а по результатам выполнения методики измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок – процентильная оценка общей эффективности выполнения методики. После завершения исследования все желающие были ознакомлены с публикациями по материалам работы.

Математико-статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью языка программирования R в программе RStudio 1.0.143. Для оценки различий между группами в зависимости от типа данных применялся F-критерий Фишера или U-критерий Манна-Уитни. Для оценки доли объяснённой дисперсии вычислялась простая или множественная линейная регрессия.

#### **6.4. Результаты исследования**

При обработке результатов сначала были построены регрессионные модели, в которых в качестве независимых переменных выступают первичные 30 переменных, а в качестве зависимых – результаты выполнения теста МААГС-2015. Во всех случаях отбор значимых предикторов производился путём пошагового отбора в обратном направлении (backward).

Для арифметических способностей значимыми предикторами выступают 4 переменные, причём одна из них является негативным предиктором:  $0,305\text{СЛЗЛ} + 0,296\text{СПРЛ} + 0,286\text{СПРП} - 0,401\text{ПЛЗП} + 0,073$  ( $R^2 = 0,29$ , скорректированный  $R^2 = 0,251$ ,  $p < 0,001$ ). Для алгебраических способностей значимыми предикторами выступают 3

переменные:  $0,337\text{РЛСП} + 0,313\text{РЛРП} + 0,22\text{СЛРЛ} + 0,017$  ( $R^2 = 0,28$ , скорректированный  $R^2 = 0,25$ ,  $p < 0,001$ ). Для геометрических способностей значимыми предикторами выступают 2 переменные:  $0,286\text{СЛРЛ} + 0,281\text{РЛСП} + 0,095$  ( $R^2 = 0,144$ , скорректированный  $R^2 = 0,121$ ,  $p = 0,003$ ). Для математических способностей в целом значимыми предикторами выступают 3 переменные:  $0,315\text{СЛРЛ} + 0,279\text{РЛСП} + 0,233\text{СЛЗП} + 0,064$  ( $R^2 = 0,28$ , скорректированный  $R^2 = 0,25$ ,  $p < 0,001$ ). Для внимания значимыми предикторами выступают две переменные:  $0,313\text{СПСЛ} + 0,33\text{РЛРП} - 0,105$  ( $R^2 = 0,211$ , скорректированный  $R^2 = 0,19$ ,  $p < 0,001$ ).

Альтернативный способ анализа предполагает использование в качестве предикторов вторичных показателей выполнения методики. Из-за того, что первые 4 показателя (ЛП, ПЛ, ЛЛ, ПП) включают в себя те же переменные, что и последние 9 показателей (РС, СР, РЗ, ЗР, СЗ, ЗС, РР, СС, ЗЗ), между ними существуют довольно сильные корреляции. Это создаёт проблему коллинеарности независимых переменных. Поэтому целесообразно проводить раздельный анализ для каждой группы показателей.

При использовании в качестве предикторов показателей эффективности перешифровки информации между полушариями и внутри полушарий получены следующие результаты. Арифметические способности:  $0,363\text{ПЛ} + 0,066$  ( $R^2 = 0,142$ , скорректированный  $R^2 = 0,131$ ,  $p < 0,001$ ). Алгебраические способности:  $0,268\text{ЛП} - 0,015$  ( $R^2 = 0,092$ , скорректированный  $R^2 = 0,08$ ,  $p = 0,007$ ). Геометрические способности:  $0,247\text{ПП} + 0,091$  ( $R^2 = 0,057$ , скорректированный  $R^2 = 0,045$ ,  $p = 0,03$ ). Математические способности в целом:  $0,305\text{ЛП} + 0,046$  ( $R^2 = 0,11$ , скорректированный  $R^2 = 0,098$ ,  $p = 0,003$ ). Внимание:  $0,333\text{ПЛ} - 0,133$  ( $R^2 = 0,147$ , скорректированный  $R^2 = 0,136$ ,  $p < 0,001$ ).

При использовании в качестве предикторов показателей эффективности перешифровки информации между разными модальностями и внутри одной модальности получены следующие результаты. Арифметические способности:  $0,419\text{СР} + 0,067$  ( $R^2 = 0,189$ , скорректированный  $R^2 = 0,178$ ,  $p < 0,001$ ). Алгебраические способности:  $0,335\text{РР} + 0,001$  ( $R^2 = 0,109$ , скорректированный  $R^2 = 0,097$ ,  $p = 0,003$ ). Геометрические способности:  $0,259\text{РС} + 0,09$  ( $R^2 = 0,065$ , скорректированный  $R^2 = 0,052$ ,  $p = 0,02$ ). Математические способности в целом:  $0,325\text{СР} + 0,047$  ( $R^2 = 0,123$ , скорректированный  $R^2 = 0,112$ ,  $p = 0,002$ ). Внимание:  $0,405\text{РР} - 0,115$  ( $R^2 = 0,165$ , скорректированный  $R^2 = 0,154$ ,  $p < 0,001$ ).

Кроме этого, в качестве предиктора можно использовать суммарный показатель эффективности перешифровок (S). Арифметические способности:  $0,392\text{S} + 0,063$  ( $R^2 = 0,175$ , скорректированный  $R^2 = 0,164$ ,  $p < 0,001$ ). Алгебраические способности:  $0,262\text{S} - 0,017$  ( $R^2 = 0,092$ , скорректированный  $R^2 = 0,08$ ,  $p = 0,007$ ). Геометрические способности с показателем S не связаны. Математические способности в целом:  $0,342\text{S} + 0,043$  ( $R^2 =$

0,144, скорректированный  $R^2 = 0,133$ ,  $p < 0,001$ ). Внимание: 0,294S – 0,136 ( $R^2 = 0,12$ , скорректированный  $R^2 = 0,109$ ,  $p = 0,002$ ).

Другой метод анализа предполагает выделение крайних групп по переменным, соответствующим шкалам теста МААГС-2015, и исследование различий между ними по эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок. Крайние группы выделялись по критерию выхода за пределы 0,5 стандартного отклонения. При разделении на группы по шкале «Арифметика» (здесь и далее в этом абзаце различия оценивались по U-критерию Манна-Уитни) значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ( $p = 0,01$ ), СЛЗЛ ( $p = 0,014$ ), СПРЛ ( $p = 0,041$ ), СПЗЛ ( $p = 0,047$ ), СПРП ( $p = 0,009$ ), РПСЛ ( $p = 0,007$ ), ЛП ( $p = 0,015$ ), ПЛ ( $p = 0,001$ ), ЛЛ ( $p = 0,006$ ), ПП ( $p = 0,007$ ), СР ( $p = 0,001$ ), СЗ ( $p = 0,001$ ), СС ( $p = 0,038$ ) и общей эффективности выполнения методики ( $p < 0,001$ ). При разделении на группы по шкале «Алгебра» значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ( $p = 0,004$ ), СЛЗЛ ( $p = 0,042$ ), СЛЗП ( $p = 0,007$ ), СПЗП ( $p = 0,034$ ), РЛСП ( $p = 0,002$ ), ЛП ( $p = 0,004$ ), ЛЛ ( $p = 0,03$ ), ПП ( $p = 0,021$ ), РС ( $p = 0,019$ ), СР ( $p = 0,022$ ), СЗ ( $p = 0,002$ ), РР ( $p = 0,017$ ) и общей эффективности выполнения методики ( $p = 0,004$ ). При разделении на группы по шкале «Геометрия» значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ( $p = 0,024$ ), РЛСП ( $p = 0,04$ ). При разделении на группы по суммарной шкале «Математика» значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ( $p = 0,003$ ), СЛЗЛ ( $p = 0,014$ ), СЛЗП ( $p = 0,033$ ), РЛСП ( $p = 0,016$ ), ЛП ( $p = 0,02$ ), ЛЛ ( $p = 0,031$ ), СР ( $p = 0,011$ ), СЗ ( $p = 0,004$ ), РР ( $p = 0,031$ ) и общей эффективности выполнения методики ( $p = 0,006$ ). При разделении на группы по шкале «Внимание» значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ( $p = 0,045$ ), СПСЛ ( $p = 0,001$ ), РЛРП ( $p = 0,017$ ), ЛП ( $p = 0,045$ ), ПЛ ( $p = 0,001$ ), ЛЛ ( $p = 0,005$ ), СЗ ( $p = 0,031$ ), РР ( $p = 0,004$ ) и общей эффективности выполнения методики ( $p = 0,002$ ). Во всех случаях преимущество было в высокой группе. Неполное соответствие результатам регрессионного анализа объясняется неодинаковой выраженностью выявляемых связей при разном уровне математических способностей. Сопоставление результатов разных способов анализа данных даёт более полную картину исследуемых закономерностей.

Из 78 испытуемых 37 проявляли интерес к математической деятельности, 40 – не проявляли, 1 – не смог дать однозначный ответ. При наличии интереса к математической деятельности среднее стандартизированное значение арифметических способностей составило  $0,1528 \pm 0,8969$ , при его отсутствии –  $-0,0051 \pm 0,981$  (различия незначимы). При наличии интереса к математической деятельности среднее стандартизированное значение алгебраических способностей составило  $-0,0176 \pm 0,7897$ , при его отсутствии –  $0,0031 \pm 0,9018$  (различия незначимы). При наличии интереса к математической

деятельности среднее стандартизированное значение геометрических способностей составило  $0,296 \pm 0,8488$ , при его отсутствии –  $-0,1239 \pm 1,0101$  (различия на уровне тенденции:  $F(1, 75) = 3,863$ ,  $p = 0,0531$ ). При наличии интереса к математической деятельности среднее стандартизированное значение математических способностей в целом составило  $0,1505 \pm 0,791$ , при его отсутствии –  $-0,0593 \pm 0,9892$  (различия незначимы). При наличии интереса к математической деятельности среднее стандартизированное значение внимания составило  $-0,2612 \pm 0,9236$ , при его отсутствии –  $-0,0182 \pm 0,774$  (различия незначимы).

### **6.5. Обсуждение результатов исследования**

Применение методики диагностики эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок выявило заметные индивидуальные различия в специфике межмодального взаимодействия. После выполнения методики многие испытуемые отмечали, что восприятие сигналов определённой модальности было для них очень сложной задачей, а сигналов другой модальности – не представляло особых трудностей. Некоторые испытуемые сообщали в ретроспективных отчётах, что с определённого момента начинали пользоваться опосредствующими образами. Они мысленно переводили все сигналы в самостоятельно конструируемые зрительные схемы, числа, звуки, из которых им было легче потом перешифровывать их в исходящую модальность. Одна испытуемая рассказала, что каждый раз мысленно строила график, в котором по шкале абсцисс откладывалась последовательность ритмических элементов, а по шкале ординат – их количество. Большинство испытуемых отмечали субъективную сложность выполнения методики в целом, однако объективно давали больше трёх четвертей правильных ответов.

Полученные в исследовании результаты указывают на то, что компоненты математических способностей связаны с эффективностью межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок. Некоторые связи носят специфический характер, другие – проявляются в отношении нескольких шкал теста МААГС-2015. Эффективность перешифровки из слуховой неречевой модальности в слуховую речевую в правом полушарии является неспецифичным предиктором и связана со всеми шкалами теста МААГС-2015, включая внимание. Перешифровка из левого полушария в правое в рамках слуховой неречевой модальности выступает специфичным предиктором внимания. Перешифровки из слуховой неречевой модальности в левом полушарии в речевую и зрительную модальности в правом полушарии, из слуховой неречевой модальности в слуховую речевую модальность в рамках левого полушария и из

речевой модальности в левом полушарии в слуховую неречевую модальность в правом полушарии являются специфичными предикторами арифметических способностей. Перешифровка из слуховой неречевой модальности в зрительную в рамках левого полушария является специфичным предиктором алгебраических способностей. Перешифровка из правого полушария в левое в рамках речевой модальности выступает предиктором внимания и алгебраических способностей. Перешифровка из слуховой неречевой модальности в правом полушарии в зрительную модальность в левом полушарии выступает предиктором алгебраических способностей и математических способностей в целом. Перешифровка из речевой модальности в правом полушарии в слуховую неречевую модальность в левом полушарии является предиктором алгебраических, геометрических и математических способностей в целом. Перешифровка из слуховой неречевой модальности в зрительную в рамках правого полушария имеет значение для арифметических, алгебраических и математических способностей в целом.

В наибольшей степени с межполушарными и внутриполушарными межмодальными перешифровками связаны арифметические и алгебраические способности, в наименьшей – геометрические. На наш взгляд, это связано с большей вариативностью операционального обеспечения геометрической деятельности. Большинство геометрических задач можно решить алгебраическими средствами или с помощью теорем, хранящихся в памяти. Задачи можно решать по-разному в зависимости от того, какие способы решения наиболее привычны. Альтернативные способы решения обеспечиваются разными компонентами психических функций, соответственно, выявление общих закономерностей становится затруднительным.

Для арифметических способностей наиболее значимыми являются перешифровки с участием слуховой неречевой модальности, для алгебраических – с участием речевой модальности, а для геометрических – с участием обеих этих модальностей. Зрительная модальность играет роль только в обеспечении арифметических способностей. Как для арифметических, так и для алгебраических способностей важны перешифровки информации между полушариями и внутри каждого полушария. При этом для арифметических способностей важнее перешифровка информации из левого полушария в правое, для алгебраических – из правого в левое, а для геометрических – внутри левого полушария. Для математических способностей в целом наиболее существенной является эффективность перешифровок из правого полушария в левое и из слуховой неречевой модальности в речевую.

Интерпретировав полученные результаты в рамках теории системной и динамической локализации ВПФ (Лурия, 1962, 1973; Хомская, 2010), мы можем

предположить, какие участки мозга задействованы в обеспечении компонентов математических способностей. Известно, что межмодальное взаимодействие может протекать на разных уровнях реализации психической деятельности и, соответственно, обеспечиваться корковыми и подкорковыми структурами головного мозга. Однако в нашем исследовании от испытуемых требовалось осознанно и произвольно перешифровывать информацию из одной модальности в другую. Это позволяет сделать допущение о том, что разработанная нами методика измеряет именно корковую активность. Полученные результаты свидетельствуют о том, что арифметические способности связаны с активностью височно-затылочной области в правом полушарии, височной области в левом полушарии, а также межполушарных связей между височными областями левого и правого полушарий. Алгебраические и геометрические способности связаны с активностью височной области в правом полушарии и межполушарных связей между височными областями правого и левого полушарий. Математические способности в целом связаны с активностью височной области в правом полушарии, межполушарных связей между височными областями правого и левого полушарий и между височной областью правого полушария и затылочной областью левого. Заметим, что эти интерпретации носят гипотетический характер, и требуют дальнейшей проверки с использованием других эмпирических данных.

Обнаружено, что интерес к математической деятельности не является значимым предиктором математических способностей. Различия на уровне тенденции проявились только в отношении геометрических способностей. Выраженность остальных компонентов математических способностей не связана с интересом к математической деятельности. Эти результаты позволяют говорить о том, что эффективность межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок объясняет куда больше вариативности математических способностей, чем интерес к математической деятельности.

## **6.6. Выводы**

Проведённое исследование позволило выявить межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки, эффективность которых обуславливает вариативность арифметических, алгебраических, геометрических и математических способностей в целом в юношеском возрасте.

Вариативность всего нескольких (от 2 до 4) перешифровок позволяет объяснить около четверти дисперсии математических способностей, причём арифметические и алгебраические способности связаны с межполушарными и внутриполушарными

межмодальными перешифровками сильнее, чем геометрические. При использовании в качестве предикторов обобщённых показателей эффективности перешифровки информации между разными модальностями и внутри одной модальности, между двумя полушариями и внутри одного полушария предсказательная способность регрессионных моделей почти вдвое ниже. Это даёт возможность говорить о специфичности определённых перешифровок в отношении соответствующих компонентов математических способностей. Наряду с этим существуют неспецифические перешифровки, связанные с несколькими компонентами математических способностей и вниманием.

Полученные результаты позволяют принять следующие гипотезы. Во-первых, выраженность математических способностей связана с общей эффективностью межполушарных и внутриполушарных перешифровок информации между слуховой, слухоречевой и зрительной модальностями. Во-вторых, имеются межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки, обладающие специфичностью связи с арифметическим, алгебраическим и геометрическим компонентами математических способностей. В-третьих, выраженность математических способностей связана с эффективностью функционирования как левого, так и правого полушария, а также с межполушарным взаимодействием, при этом вклад каждого из этих факторов в обеспечение разных компонентов математических способностей неодинаков.

## Заключение

В диссертационной работе представлены результаты исследования влияния индивидуальных различий в межполушарном и внутриполушарном межмодальном взаимодействии на выраженность математических способностей в юношеском возрасте.

Обзор работ, посвящённых психологической сущности математики и математической деятельности, позволил сделать вывод о том, что математические способности делятся на профессиональные (творческие) способности и способности, обеспечивающие изучение математики. У профессиональных математиков на первый план выступают особенности личности, предрасполагающие к эффективному осуществлению математической деятельности. Способности к изучению математики в большей степени, чем творческие математические способности, могут быть отделены от общих психологических условий, благоприятствующих математической деятельности, и потому скорее могут быть изучены изолированно в рамках дифференциальной нейропсихологии. Как и любые другие способности, они представляют собой особенности сенсорной, умственной и моторной сфер и не сводятся к положительному отношению к деятельности, характерологическим чертам, психическим состояниям, знаниям, умениям и навыкам. Правомерность выделения арифметических, алгебраических и геометрических способностей в структуре математических способностей подтверждается относительной независимостью их проявлений, не исключающей наличия группового математического фактора. Литературные данные свидетельствуют о том, что математические способности обеспечиваются функционированием обоих полушарий и межполушарным взаимодействием. В некоторых исследованиях математические способности связываются с доминированием только одного полушария (в одних исследованиях – левого, в других – правого), что, на наш взгляд, объясняется тем, что для разных компонентов математических способностей вклад правого и левого полушарий неодинаков. Между тем в современной нейропсихологии всё большее внимание уделяется взаимодействию анализаторов, на психологическом уровне проявляющемуся в виде межмодального взаимодействия. Есть основания полагать, что межмодальное взаимодействие выступает необходимым условием развития познавательных процессов и имеет непосредственное отношение к реализации мыслительной деятельности. Накоплены многочисленные факты, указывающие на то, что межмодальное взаимодействие играет большую роль в психологической и мозговой организации математических способностей.

Наши предварительные исследования показали, что математические способности слабо связаны с латеральными признаками. Небольшое преимущество наблюдается у лиц

с накоплением правосторонних (левополушарных) признаков, однако в большинстве случаев компоненты структуры интеллекта опосредуют влияние параметров межполушарных отношений на математические способности. Вместе с тем при проведении других исследований были обнаружены факты, свидетельствующие о том, что учёт сочетаний асимметрий разных анализаторов позволяет выявить закономерности, не проявляющиеся при изучении отдельных латеральных признаков. На основании этого мы выдвинули предположение о том, что фактором выраженности математических способностей в юношеском возрасте являются межполушарные и внутриволосарные межмодальные взаимодействия, причём для разных компонентов математических способностей имеются специфические и неспецифические нейрорсихологические предикторы.

Для проверки нашего предположения мы провели два эмпирических исследования. Цель первого исследования состояла в выявлении показателей латерализации в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах и их сочетаний, являющихся предикторами компонентов математических способностей в юношеском возрасте. Это исследование во много соответствовало логике предшествующих исследований, проведённых с использованием типологии индивидуальных различий, основанной на особенностях межволосарной асимметрии. Однако здесь особое внимание было уделено статистическому взаимодействию латеральных признаков, отражающих функциональную асимметрию разных анализаторов. Мы обнаружили, что вариативность отдельных показателей межволосарной асимметрии может объяснить не более десятой части вариативности математических способностей. Математические способности при этом более выражены у лиц с накоплением признаков относительного функционального доминирования левого волосария. При этом учёт сочетаний латеральных признаков, относящихся к разным анализаторным системам, позволяет объяснить около четверти дисперсии математических способностей. Кроме того, с выраженностью математических способностей связано совпадение асимметрий разных анализаторов. Получение этих результатов обусловило необходимость более подробного изучения межмодального взаимодействия с выделением в качестве категории дальнейшего анализа межмодальных перешифровок, протекающих как внутри одного волосария, так и между волосариями головного мозга. Цель второго исследования заключалась в выявлении межволосарных и внутриволосарных межмодальных перешифровок, эффективность которых обуславливает вариативность математических способностей в юношеском возрасте. Результаты исследования показали, что вариативность эффективности межмодальных перешифровок позволяет объяснить около четверти дисперсии математических

способностей. Среди этих перешифровок были обнаружены как специфические, так и неспецифические предикторы арифметических, алгебраических и геометрических способностей. Иными словами, некоторые внутриполушарных и межполушарные межмодальные перешифровки были связаны только с одним компонентом математических способностей, другие же оказались связанными с несколькими компонентами математических способностей и математическими способностями в целом.

Связь межмодального взаимодействия с математическими способностями была обнаружена как при изучении статистического взаимодействия латеральных признаков, так и при изучении внутриполушарных и межполушарных межмодальных перешифровок. Закономерным является вопрос о соотношении этих двух уровней межмодального взаимодействия. Анализ имеющихся данных показывает, что эти характеристики не связаны напрямую, однако для окончательного вывода требуется существенно большее число наблюдений. На наш взгляд, статистическое взаимодействие (сочетание) латеральных признаков в мануальной, слухоречевой и зрительной системах указывает на заданную в индивидуальном развитии функциональную латерализацию анализаторов. Есть основания полагать, что сочетание асимметрий возникло намного раньше момента диагностики и в течение длительного времени обеспечивало условия для формирования познавательных процессов. Хотя определённое сочетание латерализации анализаторов может предрасполагать к более эффективному межмодальному взаимодействию, это лишь одна из предпосылок его актуального состояния. Текущая эффективность определённых межмодальных перешифровок определяется не только исходной предрасположенностью к работе с определёнными модальностями, но и частотой встречаемости в опыте ситуаций, требующих соответствующего взаимодействия анализаторов.

Отметим особую роль применения в наших исследованиях математико-статистического аппарата, использование которого нехарактерно для большинства исследований, проведённых в русле нейропсихологии индивидуальных различий. Как отмечает В.Ю. Крылов (1985, с. 12), «роль математизации психологического знания заключается в развитии логической структуры психологических теорий от описательных к гипотетико-дедуктивным и далее к аксиоматизированным содержательным. Математизация психологического знания является, таким образом, фундаментальной проблемой психологической науки, разработка которой способствует развитию теоретической психологии...». Можно считать полученные результаты достаточно скромными, т.к. с помощью нейропсихологических характеристик удалось объяснить не более четверти вариативности математических способностей. Однако отличительной особенностью нашего исследования является указание на конкретные доли объяснённой

дисперсии для каждой выявленной закономерности. Впервые в дифференциальной нейропсихологии были построены регрессионные модели, позволившие оценить долю вариативности математических способностей, обусловленную особенностями межполушарного и внутриполушарного межмодального взаимодействия. Мы скептически относимся к работам, в которых лишь на основе статистической значимости того или иного математического показателя делаются далеко идущие выводы. Необходимо каждый раз не только фиксировать наличие значимой связи между переменными или значимого различия между группами, но и оценивать вклад вариативности независимой переменной (или нескольких независимых переменных) в вариативность зависимой.

Считаем важным подробнее раскрыть логику причинного вывода, которой мы следовали при интерпретации полученных результатов. Как известно, корреляционный подход направлен на проверку гипотез о связях, которые «включают предположения о том, что изменения одной переменной каким-то образом связаны с изменениями другой, но не предполагается, что какая-то из этих переменных является причинно-действующей» (Корнилова, 2012, с. 423). В нашей работе экспериментальный метод не мог применяться из-за того, что параметры функциональной межполушарной асимметрии и эффективность межполушарного и внутриполушарного межмодального взаимодействия являются индивидуальными свойствами человека, которые не должны произвольно меняться под воздействием исследователя. Хотя мы не могли напрямую проверять причинно-следственные гипотезы, всё же есть основания полагать, что именно нейропсихологические показатели влияют на математические способности, а не наоборот. Во-первых, в экспериментальной психологии допускаются предположения о направленности связи на основе теории. Известно, что межполушарная асимметрия и межанализаторное взаимодействие являются базовыми характеристиками мозгового обеспечения психической деятельности, и могут быть измерены у любого человека вне зависимости от его специальных способностей. Мы не можем исключать, что целенаправленные занятия математикой могут влиять на мозговую организацию психических функций, однако в нашем исследовании были задействованы люди, не занимающиеся математической деятельностью профессионально и имеющие одинаковый уровень математического образования, ограничивающийся школьной программой. Во-вторых, в нашей работе корреляционный метод дополнялся квазиэкспериментальным методом. Не имея возможности управлять межполушарными межмодальными взаимодействиями, при реализации межгрупповых схем мы использовали имеющиеся различия между группами. В-третьих, мы строили регрессионные модели, позволяющие оценить вклад нейропсихологических предикторов в вариативность математических

способностей. Сами по себе регрессионные уравнения не являются детерминистскими, однако при соблюдении условий причинного вывода существенные предикторы могут получить содержательную интерпретацию как причинно действующие факторы. Вычисление коэффициента детерминации позволяет показать, какова доля дисперсии математических способностей, которую можно объяснить влиянием нейропсихологических предикторов. Оставшаяся доля дисперсии при этом приходится на влияние других, не исследованных нами, факторов. Иными словами, межполушарное межмодальное взаимодействие влияет на математические способности, но степень этого влияния ограничена тем процентом дисперсии, который можно объяснить в регрессионных моделях.

Таким образом, результаты исследования продемонстрировали, что эффективность межмодального взаимодействия является более существенным предиктором математических способностей, чем особенности межполушарных отношений. В мозговом обеспечении математических способностей задействованы оба полушария головного мозга и каждое вносит свой вклад в осуществление математической деятельности в процессе их взаимодействия. По-видимому, при решении математических задач исходная информация проходит несколько этапов обработки и переструктурирования. Каждый из этих этапов реализуется с преимущественным участием определённых мозговых систем, поэтому после переработки информации в одной системе она должна передаваться для дальнейшей переработки в другую систему. Траектории нейрокогнитивной обработки математической информации могут различаться как из-за индивидуальных различий в сильных и слабых звеньях познавательных процессов, так и по причине неодинаковых педагогических подходов к обучению математике. В связи с этим поиск узкой и однозначной мозговой локализации математических способностей представляется необоснованным. Между тем мы можем предполагать, что в мозговом обеспечении математических способностей задействованы корковые отделы анализаторов и проводящие пути между ними. Внутри каждого полушария связи между анализаторными системами обеспечиваются работой задней ассоциативной области и ассоциативными проводящими путями, а между полушариями – с помощью комиссуральных проводящих путей. Наши результаты позволяют предположить, что при реализации арифметических способностей задействуются височные отделы правого и левого полушарий, а также внутримушарная связь правых височных и затылочных отделов и межполушарная связь левых височных и правых височных отделов. Основным вектором переработки информации является путь из левого полушария в правое. Алгебраические способности связаны с функционированием правых височных отделов и межполушарной связью

между правыми и левыми височными отделами. Основным вектором переработки информации является путь из правого полушария в левое. Геометрические способности обеспечиваются работой височных отделов в правом полушарии и межполушарной связью правых и левых височных отделов. Основная переработка информации осуществляется в левом полушарии. Выраженность математических способностей в целом связана с работой височных отделов правого полушария, межполушарной связью правых и левых височных отделов и межполушарной связью правых височных и левых затылочных отделов. Основным вектором переработки информации является путь из правого полушария в левое.

Сложность рассматриваемой проблемы и невозможность её полного раскрытия в настоящей работе позволяет наметить перспективы дальнейших исследований:

1. Исследование межполушарных и внутриполушарных межмодальных взаимодействий, обуславливающих уровень развития операциональных компонентов математических способностей, выделенных В.А. Крутецким (1968, 1998).

2. Изучение специфичности вклада межполушарных и внутриполушарных межмодальных взаимодействий в математические способности по сравнению с аналогичным вкладом в общие интеллектуальные способности. Построение математической модели, демонстрирующей взаимосвязь нейропсихологических показателей, компонентов структуры интеллекта и компонентов математических способностей.

3. Поиск различий в нейропсихологическом обеспечении математических способностей на разных этапах индивидуального развития (от дошкольного до юношеского возраста). Выявление нейропсихологических показателей, позволяющих с эмпирически обоснованной вероятностью предсказывать уровень развития математических способностей в разном возрасте.

## Выводы

Результаты проведённого исследования позволяют принять все выдвинутые гипотезы и сделать следующие выводы относительно влияния индивидуальных различий в межполушарном и внутриполушарном межмодальном взаимодействии на выраженность математических способностей в юношеском возрасте:

1. Выраженность компонентов математических способностей обуславливается эффективностью функционирования обоих полушарий и межполушарного взаимодействия. Для арифметических способностей важнее перешифровка информации из левого полушария в правое, для алгебраических – из правого в левое, а для геометрических – внутри левого полушария. Математические способности в целом наиболее связаны с эффективностью перешифровок из правого полушария в левое и из слуховой неречевой модальности в речевую.

2. Статистическое взаимодействие (сочетание) латеральных признаков, отражающих функциональную межполушарную асимметрию в мануальной, слухоречевой и зрительной сферах, является фактором выраженности математических способностей. Оно позволяет объяснить больше вариативности (примерно 25%) математических способностей, чем отдельные латеральные признаки (около 10%).

3. С математическими способностями положительно связано совпадение функциональных асимметрий разных анализаторов. Наиболее существенным является совпадение слуховой и зрительной асимметрий – оно определяет примерно 15% дисперсии математических способностей.

4. Накопление признаков функционального доминирования левого полушария положительно сказывается на выраженности математических способностей. Объяснительная способность составляет от 10% дисперсии для отдельных латеральных признаков до 20% дисперсии для интегрального показателя межполушарной асимметрии.

5. Общая эффективность межмодального взаимодействия, проявляющегося на уровне межполушарных и внутриполушарных перешифровок информации между слуховой, слухоречевой и зрительной модальностями, связана с выраженностью математических способностей, определяя до 15% их вариативности.

6. Имеются межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки, обладающие специфичностью связи с арифметическими, алгебраическими и геометрическими способностями (определённые перешифровки связаны только с одним компонентом математических способностей). Также существуют перешифровки, неспецифично связанные с несколькими компонентами математических способностей и

вниманием. Около 25% вариативности компонентов математических способностей может быть объяснено за счёт вариативности нескольких перешифровок (от 2 до 4 для разных компонентов). Арифметические и алгебраические способности связаны с межполушарными и внутриполушарными межмодальными перешифровками сильнее, чем геометрические.

## Список литературы

1. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики: пер. с франц. – М.: Изд-во «Советское радио», 1970. – 152 с.
2. Айдаркин Е.К., Богун А.С. Исследование нейрофизиологических механизмов процесса распознавания простых вербальных и невербальных стимулов // Валеология, 2009. – № 4. – С. 66-80.
3. Айдаркин Е.К., Богун А.С. Нейрофизиологические механизмы решения примеров на умножение и сложение двузначных чисел // Валеология, 2010. – № 4. – С. 77-100.
4. Айдаркин Е.К., Богун А.С., Щербина Д.Н. Отражение реализации арифметического навыка в динамике уровня когнитивного напряжения и ЭЭГ в условиях параллельного выполнения двух задач // Валеология, 2010. – № 3. – С. 33-48.
5. Алексеев П.В., Панин А.В. Философия: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Проспект, 2015. – 592 с.
6. Айдаркин Е.К., Фомина А.С. Психофизиологические особенности решения арифметических примеров на сложение и умножение двузначных чисел // Валеология, 2011. – № 3. – С. 85-98.
7. Айдаркин Е.К., Фомина А.С. Исследование динамики пространственной синхронизации потенциалов мозга при решении сложных арифметических примеров // Валеология, 2012. – № 3. – С. 91-106.
8. Амоут С., Вонг С. Тайны мозга вашего ребёнка: пер. с англ. – М.: Эксмо, 2012. – 480 с.
9. Ананьев Б.Г. Психология и проблемы человекознания / Под ред. А.А. Бодалева. – М.: Издательство «Институт практической психологии», Воронеж: НПО «МОДЭК», 1996. – 384 с.
10. Аршавский В.В. Различия, которые нас объединяют (Этюды о популяционных механизмах межполушарной асимметрии). – Рига: Педагогический Центр «Эксперимент», 2001. – 234 с.
11. Бабенкова С.В. Клинические синдромы поражения правого полушария мозга при остром инсульте. – М.: Медицина, 1971. – 263 с.
12. Балашова Е.Ю., Ковязина М.С. Исследование оптико-пространственных функций в норме // Журнал прикладной психологии, 2006. – № 6-1. – С. 36-44.
13. Балашова Е.Ю., Ковязина М.С. Нейропсихологическая диагностика в вопросах и ответах. – М.: Генезис, 2012. – 240 с.

14. Балонов Л.Я., Баркан Д.В., Деглин В.Л., Кауфман Д.А., Николаенко Н.Н. Унилатеральный электросудорожный припадок. – Л.: Наука, 1979. – 172 с.
15. Балонов Л.Я., Деглин В.Л. Слух и речь доминантного и недоминантного полушарий. – Л.: Наука, 1976. – 218 с.
16. Балонов Л.Я., Деглин В.Л. Восприятие сложных неречевых звуковых образов в условиях инактивации доминантного и недоминантного полушарий // Нейропсихология: Хрестоматия. – 3-е изд. / Под ред. Е.Д. Хомской. – СПб.: Питер, 2010. – С. 252-262.
17. Барретт Д., Вильямс Д. Проверь свои способности: пер. с англ. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 224 с.
18. Батурин Н.А., Курганский Н.А. Универсальный интеллектуальный тест (УИТ СПЧ-М): Руководство. – Челябинск, СПб.: Психологический центр ПсиХРОН, 2003. – 57 с.
19. Безбородова М.А. Развитие психомоторных способностей младших школьников в учебной деятельности: монография. – 2-е изд., стер. – М.: ФЛИНТА, Наука, 2014. – 176 с.
20. Безруких М.М. Леворукий ребёнок в школе и дома. – 2-е изд., перераб. – Екатеринбург: У-Фактория, 2003. – 299 с.
21. Березина Т.Н. Психические образы высших порядков: слово как звучание и как значение // Педагогика и психология образования, 2012. – № 4. – С. 71-84.
22. Бианки В.Л. Механизмы парного мозга. – Л.: Наука, 1989. – 264 с.
23. Бизюк А.П. Компендиум методов нейропсихологического исследования. Методическое пособие. – СПб.: Речь, 2005. – 400 с.
24. Бизюк А.П. Основы нейропсихологии: Учебное пособие. – СПб.: Речь, 2010. – 293 с.
25. Биркгофф Г. Математика и психология: пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 112 с.
26. Бияшева З.Г., Швецова Е.В. Информационный подход к анализу возрастной динамики ЭЭГ мальчиков и подростков 7-18 лет при решении в уме арифметических задач // Физиология человека, 1993. – Т. 19. – № 5. – С. 5-11.
27. Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л. Мозг, разум и поведение: пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 248 с.
28. Бойко Е.И. Мозг и психика. (Физиология, психология, кибернетика). – М.: «Просвещение», 1969. – 191 с.

29. Большой психологический словарь. – 4-е изд., расширенное / Сост. и общ. ред. Б.Г. Мещеряков, В.П. Зинченко. – М.: АСТ: АСТ МОСКВА; СПб.: Прайм-ЕВРОЗНАК, 2009. – 811 с.
30. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: Медицина, 1988. – 240 с.
31. Буравлева Н.А. Психолого-педагогическое сопровождение образовательного процесса с учётом типологических особенностей обучающихся: учебное пособие. – Томск: Издательство ТГПУ, 2012. – 140 с.
32. Вальд И. Проблемы афазии полиглотов // Вопросы клиники и патофизиологии афазии. – М.: Педгиз, 1961. – С. 140-176.
33. Ван дер Варден Б.Л. Пробуждающаяся наука. Математика Древнего Египта, Вавилона и Греции: пер. с голл. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 459 с.
34. Василюк Ф.Е. Структура образа (к 90-летию со дня рождения А. Н. Леонтьева) // Вопросы психологии, 1993. – № 5. – С. 5-19.
35. Введение в психологию / Под общ. ред. А.В. Петровского. – М.: Издательский центр «Академия», 1996. – 496 с.
36. Вейль Г. Математическое мышление: пер. с англ. и нем. / Под ред. Б.В. Бирюкова, А.Н. Паршина. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 400 с.
37. Веккер Л.М. Психика и реальность: Единая теория психических процессов. – М.: Смысл, PerSe, 2000. – 685 с.
38. Величковский Б.М., Зинченко В.П., Лурия А.Р. Психология восприятия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. – 247 с.
39. Вертгеймер М. Продуктивное мышление: пер. с англ. / Под общ. ред. С.Ф. Горбова и В.П. Зинченко. – М.: Прогресс, 1987. – 336 с.
40. Визель Т.Г. Основы нейропсихологии: учебник для студентов вузов. – М.: В. Секачев, 2013. – 264 с.
41. Выготский Л.С. Развитие высших психических функций. – М.: Изд-во АПН РСФСР, 1960. – 500 с.
42. Выготский Л.С. Исторический смысл психологического кризиса // Выготский Л.С. Собрание сочинений: В 6-ти т. Т. 1. Вопросы теории и истории психологии / Под ред. А.Р. Лурия, М.Г. Ярошевского. – М.: Педагогика, 1982. – С. 291-436. (Выготский, 1982а)

43. Выготский Л.С. Мышление и речь // Выготский Л.С. Собрание сочинений: В 6-ти т. Т. 2. Проблемы общей психологии / Под ред. В.В. Давыдова. – М.: Педагогика, 1982. – С. 5-361. (Выготский, 1982б)
44. Гайшут А.Г. Математика в логических упражнениях. – К.: Радянська школа, 1985. – 192 с.
45. Галль Ф.Й., Шпурцгейм И.Г. Исследования о нервной системе вообще и о мозговой в особенности: пер. с франц. / Под ред. А.И. Говорова. – СПб.: В Морской типографии, 1816. – 91 с.
46. Гарднер Г. Структура разума: теория множественного интеллекта: пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 512 с.
47. Гиллингс Р. Математика во времена фараонов: пер. с англ. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2011. – 317 с.
48. Гиппенрейтер Ю.Б. Введение в общую психологию: курс лекций. Учебное пособие. – М.: Черо, 1996. – 336 с.
49. Глазков Ю.А., Варшавский И.К., Гаиашвили М.Я. ГИА. Математика. 9 класс. Государственная итоговая аттестация (в новой форме). Тематические тестовые задания. – М.: Издательство «Экзамен», 2014. – 110 с.
50. Глозман Ж.М. Нейропсихологическое обследование: качественная и количественная оценка данных. – М.: Смысл, 2012. – 264 с.
51. Голубева Э.А., Изюмова С.А., Кабардов М.К., Кадыров Б.Р., Матова М.А., Печенков В.В., Суворова В.В., Тихомирова И.В., Туровская З.Г., Юсим Е.Д. Опыт комплексного исследования учащихся в связи с некоторыми проблемами дифференциации обучения // Вопросы психологии, 1991. – № 2. – С. 132-140.
52. Гольдберг Э., Коста Л.Д. Нейроанатомическая асимметрия полушарий мозга и способы переработки информации // Нейропсихология сегодня / Под ред. Е.Д. Хомской. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 8-14
53. Горина И.С., Степанова О.Б., Быкова А.В. Экспресс-методика на определение ведущей руки «hand-dominanz-test» (HDT) // Асимметрия, 2013. – Т. 7. – № 1. – С. 22-29.
54. Григорьева В.Н., Ковязина М.С., Тхостов А.Ш. Когнитивная реабилитация больных с инсультом и черепно-мозговой травмой. – 2-е изд. – Нижний Новгород: НижГМА, 2013. – 324 с.
55. Гриндель О.М., Жаворонкова Л.А. Электроэнцефалограмма здорового человека // Нейрофизиологические исследования в клинике / Под ред. Г.А. Щекутьева. – М.: АНТИДОР, 2001. – С. 39-44.

56. Гусев Е.И., Камчатнов П.Р. Пластичность нервной системы // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова, 2004. – Т. 104. – № 3. – С. 73-79.
57. Далингер В.А., Симонженков С.Д. Методика обучения математике. Когнитивно-визуальный подход: учебник для СПО. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 340 с.
58. Данилова Н.Н. Психофизиология: Учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 368 с.
59. Данилова Н.Н., Крылова А.Л. Физиология высшей нервной деятельности: Учебник. – М.: Учебная литература, 1997. – 432 с.
60. Данциг Т. Числа – язык науки: пер. с англ. / Под ред. Ж. Мазура. – М.: Техносфера, 2008. – 304 с.
61. Деглин В.Л. Функциональная асимметрия мозга и гетерогенность мышления, или как решаются силлогизмы с ложными посылками в условиях преходящего угнетения одного полушария // Нейропсихология сегодня / Под ред. Е.Д. Хомской – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – С. 28-37.
62. Деглин В.Л., Ивашина Г.Г., Николаенко Н.Н. Роль доминантного и недоминантного полушария мозга в изображении пространства // Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии мозга / Под ред. Е.Д. Хомской – М.: Наука, 1986. – С. 58-70.
63. Демина М.Д., Солодчик П.О. Хохлов Н.А. Влияние адаптации к инверсии зрительного восприятия на слухоречевую асимметрию // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов, 2014. – № 8 (98). – С. 75-79.
64. Депман И.Я. История арифметики. Пособие для учителей. – 2-е изд., испр. – М.: Просвещение, 1965. – 416 с.
65. Джексон Дж.Х. Избранные работы по афазии: пер. с англ. – СПб.: «Нива», 1996. – 70 с.
66. Джексон Дж.Х. О природе двойственности мозга: пер. с англ. // Нейропсихология: Хрестоматия. – 3-е изд. / Под ред. Е.Д. Хомской. – СПб.: Питер, 2010. – С. 162-163.
67. Диагностика познавательных способностей: Методики и тесты: Учебное пособие. / Отв. ред. В.Д. Шадриков. – М.: Академический Проект, Альма Матер, 2009. – 533 с.
68. Дмитриева В.Г. Большой альбом по развитию математических способностей. – М.: Издательство АСТ, 2017. – 159 с.
69. Доброхотова Т.А. Нейропсихиатрия. – 2-е изд., испр. – М.: Издательство БИНОМ, 2013. – 304 с.

70. Доброхотова Т.А., Брагина Н.Н. Функциональная асимметрия и психопатология очаговых поражений мозга. – М.: Медицина, 1977. – 360 с.
71. Доброхотова Т.А., Брагина Н.Н. Левши. – М.: Книга, 1994. – 230 с.
72. Дойдж Н. Пластичность мозга: Потрясающие факты о том, как мысли способны менять структуру и функции нашего мозга: пер. с англ. – М.: Эксмо, 2011. – 544 с.
73. Дружинин В.Н. Психология общих способностей. – 3-е изд. СПб.: Питер, 2006. – 368 с.
74. Дубровинская Н.В., Фарбер Д.А., Безруких М.М. Психофизиология ребенка: Психофизиологические основы детской валеологии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 144 с.
75. Емельянова Е.В. Тест структуры математических способностей // Психология детской одарённости и творческих способностей / Под ред. Л.И. Ларионовой. – Иркутск: ВСГАО, 2009. – С. 38-71.
76. Еремеева В.Д. Типы латеральности у детей и нейрофизиологические основы индивидуальной обучаемости // Вопросы психологии, 1989. – № 6. – С. 128-135.
77. Ермолаев-Томин О.Ю. Математические методы в психологии: учебник для бакалавров. – 4-е изд., пер. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 511 с.
78. Естественнонаучные основы психологии / Под ред. А.А. Смирнова, А.Р. Лурия, В.Д. Небылицина. – М.: Педагогика, 1978. – 368 с.
79. Ефимова И.В. Амбидекстры: Нейропсихология индивидуальных различий. – СПб.: КАРО, 2007. – 160 с.
80. Жаворонкова Л.А. Правши-левши: межполушарная асимметрия электрической активности мозга человека. – М.: Наука, 2006. – 222 с.
81. Жаворонкова Л.А. Правши-левши: межполушарная асимметрия биопотенциалов мозга человека. Монография. – Краснодар: Экоинвест, 2009. – 240 с.
82. Жаворонкова Л.А., Болдырева Г.Н., Доброхотова Т.А. Зависимость организации электрической активности мозга человека от доминантности полушарий // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова, 1988. – Т. 38. – № 4. – С. 620-626.
83. Зеленина Е.О. Синестезия как проблема педагогики музыкального воспитания и образования: развитие слухо-зрительных интермодальных ассоциаций. – СПб.: Астерион, 2010. – 174 с.
84. Иваницкая Л.Н., Богун А.С. Некоторые особенности ЭЭГ школьников при интеллектуальной нагрузке различного содержания // Валеология, 2007. – № 3. – С. 68-77.

85. Ивановский В.Н. Ложные вторичные ощущения // Вопросы философии и психологии, 1893. – № 5. – С. 94-108.
86. Кабаков Р.И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R: пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 588 с.
87. Кабардов М.К., Матова М.А. Межполушарная асимметрия и вербальный и невербальный компоненты познавательных способностей // Вопросы психологии, 1988. – № 6. – С. 106-115.
88. Кант И. Критика чистого разума: пер. с нем. – М.: Мысль, 1994. – 591 с.
89. Каримулина Е.Г., Зверева Н.В. Перцептивная асимметрия у здоровых и «проблемных» детей // А.Р. Лурия и психология XXI века. Доклады второй международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.Р. Лурия / Под ред. Т.В. Ахутиной, Ж.М. Глозман. – М.: Смысл, 2003. – С. 251-255.
90. Касальдеррей Ф.М. Обман чувств. Наука о перспективе: пер. с исп. // Мир математики: в 40 т. Т. 16. – М.: Де Агостини, 2014. – 176 с.
91. Катречко С.Л. К вопросу об «априорности» математического знания // Математика и опыт / Под ред. А.Г. Барабашева. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – С. 545-574.
92. Кауфман Д.А., Траченко О.П. Исследование межполушарной асимметрии у здоровых и больных шизофренией методом дихотического тестирования // Физиология человека, 1981. – Т. 7. – № 6. – С. 1034-1941.
93. Кирнарская Д.К. Психология специальных способностей. Музыкальные способности. – М.: Таланты - XXI век, 2004. – 496 с.
94. Киселева Н.А. Математика и действительность. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. – 124 с.
95. Киселева Н.А. Коррекционно-развивающая методика «Волшебная палочка». Формирование математических представлений и навыков сложения и вычитания с использованием «палочек Кюизенера». Часть 1. От одного до десяти. / Под ред. Т.В. Ахутиной. – СПб.: НОУ «Странник», 2016. – 176 с.
96. Кислинг У. Сенсорная интеграция в диалоге: понять ребёнка, распознать проблему, помочь обрести равновесие / под ред. Е.В. Ключковой. – 2-е изд. – М.: Теревинф, 2011. – 240 с.
97. Клайн М. Математика. Поиск истины: пер. с англ. / Под ред. и с предисл. В.И. Аршинова, Б.В. Сачкова. – М.: Мир, 1988. – 295 с.
98. Ковязина М.С. Нейропсихологический анализ патологии мозолистого тела. – М.: Генезис, 2012. – 176 с.

99. Ковязина М.С. Нейропсихологический синдром у больных с патологией мозолистого тела: диссертация ... доктора психологических наук: 19.00.04. – М., 2014. – 358 с.
100. Ковязина М.С., Морозова Н.В. Показатели выполнения дихотического прослушивания в зависимости от латерализации речи и мануальных предпочтений // Вопросы психологии, 2015. – № 4. – С. 159-166.
101. Ковязина М.С., Мячев А.А., Хохлов Н.А. Перспективы применения достижений нейропсихологии в обучении информатике и математике // Проблемы современной науки и их решения: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 15 июня 2012 г. – Липецк: Липецкая областная общественная организация Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов, 2012. – С. 190-196.
102. Ковязина М.С., Фомина К.А. Нейропсихологический потенциал метода «фиксированной установки» Д.Н. Узнадзе // Экспериментальная психология, 2016. – Т. 9. – № 3. – С. 91-102.
103. Ковязина М.С., Хохлов Н.А. Перспективы изучения белого вещества головного мозга в нейропсихологических исследованиях межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия // Вопросы клинической психологии. Всероссийская научная Интернет-конференция с международным участием: материалы конф. (Казань, 30 октября 2014 г.) / Сервис виртуальных конференций Рах Grid; сост. Синяев Д.Н. – Казань: ИП Синяев Д.Н., 2014. – С. 31-36.
104. Ковязина М.С., Хохлов Н.А., Морозова Н.В. Влияние межанализаторного взаимодействия на показатели дихотического прослушивания // Вопросы психологии, 2016. – № 3. – С. 110-118.
105. Кок Е.П. Зрительные агнозии. – Л.: Медицина, 1967. – 224 с.
106. Кок Е.П., Кочергина В.С., Якушева Л.В. Определение доминантности полушария при помощи дихотического прослушивания речи // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова, 1971. – Т. 21. – № 5. – С. 1012-1017.
107. Колмогоров А.Н. Современные споры о природе математики // Научное слово, 1929. – С. 41-54.
108. Колмогоров А.Н. Математика – наука и профессия / Сост. Г.А. Гальперин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 288 с.
109. Корнеев А.А., Кричевец А.Н. Условия применимости критериев Стьюдента и Манна-Уитни // Психологический журнал, 2011. – Т. 32. – № 1. – С. 97-110.

110. Корнилова Т.В. Экспериментальная психология: учебник для бакалавров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 640 с.
111. Корсакова Н.К., Московичюте Л.И. Клиническая нейропсихология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 144 с.
112. Костанди М. Нейропластичность: пер. с англ. – М.: Издательская группа «Точка», Альпина Паблишер, 2017. – 176 с.
113. Костромина С.Н. Справочник школьного психолога. – М.: Астрель, 2012. – 512 с.
114. Котик Б.С. Исследование латерализации речевых функций методом дихотического прослушивания // Психологические исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – Вып. 6. – С. 69-76.
115. Котик Б.С. Межполушарное взаимодействие в переработке слухо-речевой информации // Функциональная асимметрия и адаптация человека. Труды Московского научно-исследовательского института психиатрии МЗ РСФСР. Т. 78 / Отв. ред. А.А. Портнов. – М., 1976. – С. 59-61.
116. Котик Б.С. Межполушарное взаимодействие у человека. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1992. – 156 с.
117. Котова И.Б. С.В. Кравков как психолог и психофизиолог // Вопросы психологии, 1982. – № 4. – С. 50-60.
118. Кочергин А.Н. Философские вопросы моделирования функций мозга (спецкурс). – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 1973. – 252 с.
119. Кравков С.В. Взаимодействие органов чувств. – М., Л.: АН СССР, 1948. – 128 с.
120. Критская В.П., Мелешко Т.К., Поляков Ю.Ф. Патология психической деятельности при шизофрении: мотивация, общение, познание. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 256 с.
121. Кричевец А.Н., Корнеев А.А., Рассказова Е.И. Математическая статистика для психологов: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 400 с.
122. Крутецкий В.А. Психология математических способностей школьников. – М.: Просвещение, 1968. – 431 с.
123. Крутецкий В.А. Психология: Учебник для учащихся пед. училищ. – М.: Просвещение, 1980. – 352 с.
124. Крутецкий В.А. Психология математических способностей школьников / Под ред. Н.И. Чуприковой. – М.: Издательство «Институт практической психологии»; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 1998. – 416 с.

125. Крылов В.Ю. Конкретно-методологические и теоретические основы математической психологии // Математическая психология: методология, теория, модели / Отв. ред. В.Ю. Крылов. – М.: «Наука», 1985. – С. 6-20.
126. Кузин В.С. Психология. Учебник. – М.: «Высш. школа», 1974. – 280 с.
127. Кузнецов К.Г., Кувшинова О.Л., Серебряков А.Г., Григорьева И.В., Хохлов Н.А., Барабанов Д.Д. Моя будущая профессия. Тесты по профессиональной ориентации школьников. 8 класс: учеб. пособие для общеобразоват. организаций. – М.: Просвещение, 2017. – 80 с.
128. Кузнецова Э.А. Трактат о синестезии. – Казань: Казан. гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина, 2004. – 123 с.
129. Лакофф Дж., Нуньес Р. Откуда взялась математика: как разум во плоти создаёт математику: пер. с англ. // Горизонты когнитивной психологии: Хрестоматия / Под ред. В.Ф. Спиридонова и М.В. Фаликман. – М.: Языки славянских культур; Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), 2012. – С. 29-47.
130. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. – М.: Политиздат, 1975. – 304 с.
131. Леутин В.П., Николаева Е.И. Психофизиологические механизмы адаптации и функциональная асимметрия мозга. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1988. – 189 с.
132. Леутин В.П., Николаева Е.И. Функциональная асимметрия мозга: мифы и действительность. – СПб.: Речь, 2005. – 368 с.
133. Леушина А.М. Формирование элементарных математических представлений у детей дошкольного возраста. – М.: Просвещение, 1974. – 368 с.
134. Ливанов М.Н., Королькова Т.А., Свицерская Н.Е. Пространственная синхронизация биоэлектрической активности коры головного мозга как показатель интеллектуальной работоспособности человека // Диагностика и прогнозирование функционального состояния мозга человека / Отв. ред. М.Г. Айрапетянц. – М.: Наука, 1988. – С. 7-50.
135. Литвинова Г.В. Диагностические и прогностические возможности нейропсихологических методик в работе логопеда // Московский международный конгресс, посвящённый 110-летию со дня рождения А.Р. Лурия. Тезисы сообщений. – М., 2012. – С. 100.
136. Лукьянчикова Ж.А. Межполушарная асимметрия и эмоциональные особенности математически одаренных подростков: диссертация ... кандидата психологических наук: 19.00.04. – М., 2006. – 185 с.

137. Лупенко Е.А. Психологическая природа интермодальной общности ощущений: диссертация ... кандидата психологических наук: 19.00.01. – М., 2008. – 215 с.
138. Лупенко Е.А. Амодальное обобщение в процессе установления сходства между объектами разной модальности // Четвёртая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. В 2 т. Томск, 22-26 июня 2010 г. – Томск: Томский государственный университет, 2010. – Т. 2. – С. 389-391.
139. Лурия А.Р. Высшие корковые функции и их нарушения при локальных поражениях мозга. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 431 с.
140. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. – 374 с.
141. Лурия А.Р. Романтические эссе. – М.: Педагогика-Пресс, 1996. – 240 с.
142. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 384 с.
143. Лурия А.Р. Лекции по общей психологии. – СПб.: Питер, 2006. – 320 с.
144. Лурия А.Р., Симерницкая Э.Г. О функциональном взаимодействии полушарий головного мозга в организации вербально-мнестических функций // Физиология человека, 1975. – № 3. – Т. 1. – С. 411-417.
145. Лурия А.Р., Цветкова Л.С. Нейропсихологический анализ решения задач: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: МПСИ; Воронеж: МОДЭК, 2010. – 368 с.
146. Майская А. Ребёнок-левша: как достичь гармонии с «правым» миром. – СПб.: Питер, 2006. – 96 с.
147. Мак-Люэн М. Галактика Гутенберга: Сотворение человека печатной культуры: пер. с англ. – К.: Ника-Центр, 2003. – 432 с.
148. Максименко М.Ю., Ковязина М.С. Пособие для практических занятий по нейропсихологической диагностике. – М.: Теревинф, 1998. – 44 с.
149. Мاستицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 496 с.
150. Математика: 20 типовых вариантов экзаменационных работ для подготовки к государственной итоговой аттестации / авт.-сост. Л.О. Рослова, Л.В. Кузнецова, С.А. Шестаков, И.В. Яценко. – М.: АСТ, Астрель, 2014. – 127 с.
151. Матова М.А. Леволатеральность сенсомоторных функций и познавательные способности подростков // Леворукость у детей и подростков. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1987. – С. 51-54.
152. Механизмы деятельности мозга человека. Часть I. Нейрофизиология человека / Под ред. Н.П. Бехтеревой. – Л.: Наука, 1988. – 677 с.

153. Микадзе Ю.В. Нейропсихология детского возраста: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2013. – 288 с.
154. Микадзе Ю.В., Андреева Е.В. Влияние латерализации мозгового поражения на состояние межфункциональных и межсистемных взаимодействий [Электронный ресурс] // Психологические исследования: электрон. науч. журн., 2013. – Т. 6. – № 28. – С. 12. – URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2013v6n28/824-mikadze28.html> (дата обращения: 12.02.2018).
155. Микадзе Ю.В., Скворцов А.А. Понятие «фактор» в работах А.Р. Лурии // Вестник Моск. ун-та. Серия 14. Психология, 2007. – № 2. – С. 104-108.
156. Милнер П. Физиологическая психология: пер. с англ. / Под ред. А.Р. Лурия. – М.: Издательство «Мир», 1973. – 647 с.
157. Миловзорова М.С. Анатомия и физиология человека. – М.: Издательство «Медицина», 1972. – 215 с.
158. Мозг, познание, разум: введение в когнитивные нейронауки: в 2 ч. Ч. 1 / Под ред. Б. Баарса, Н. Гейдж: пер. с англ. / Под ред. В.В. Шульговского. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 544 с.
159. Мордкович А.Г., Мишустина Т.Н., Тульчинская Е.Е. Алгебра. 9 кл.: Задачник для общеобразоват. учреждений. – 4-е изд. – М.: Мнемозина, 2002. – 143 с.
160. Москаленко Е.В. Нарушение кроссмодального узнавания вербальных и образных стимулов при поражениях правого и левого полушарий мозга: диссертация ... кандидата психологических наук: 19.00.04. – М., 2014. – 160 с.
161. Москвин В.А. Индивидуальные профили латеральности и некоторые особенности психических процессов (в норме и патологии): диссертация ... кандидата психологических наук: 19.00.04. – М., 1990. – 191 с.
162. Москвин В.А. Проблема связи латеральных профилей с индивидуальными различиями человека (в дифференциальной психофизиологии): диссертация ... доктора психологических наук: 19.00.02. – Уфа, 2002. – 368 с.
163. Москвин В.А., Москвина Н.В. Вопросы корреляций латеральных и индивидуальных особенностей в нейропсихологии индивидуальных различий // I Международная Конференция памяти А.Р. Лурия. Сборник докладов. / Под ред. Е.Д. Хомской, Т.В. Ахутиной. – М.: Издательство «Российское психологическое общество», 1998. – С. 153-160.
164. Москвин В.А., Москвина Н.В. Основы дифференциальной нейропедагогики. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. – 152 с.

165. Москвин В.А., Москвина Н.В. Межполушарные асимметрии и индивидуальные различия человека. – М.: Смысл, 2011. – 367 с.
166. Московичюте Л.И., Голод В.И. Повторное тестирование: изменение мозговой организации психических функций в процессе научения // Новые методы нейропсихологического исследования: Сб. науч. тр. / Отв. ред. Е.Д. Хомская. – М.: Ин-т психологии АН СССР, 1989. – С. 129-136.
167. Насонова В.И. Особенности межанализаторных связей и их роль в усвоении навыков чтения и письма детьми с задержкой психического развития // Дефектология, 1979. – № 2. – С. 17-25.
168. Немов Р.С. Общая психология. В 3 т. Т. II. Познавательные процессы и психические состояния: учебник. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 1007 с.
169. Николаева Е.И. Психофизиология. Психологическая физиология с основами физиологической психологии. Учебник. – М.: ПЕР СЭ; Логос, 2003. – 544 с.
170. Николаева Е.И. Леворукий ребёнок: диагностика, обучение, коррекция. – СПб.: «ДЕТСТВО-ПРЕСС», 2009. – 128 с.
171. Николаева Е.И. Наиболее распространённые ошибки в исследованиях, связанных с анализом латеральных признаков и функциональной асимметрии мозга // Асимметрия, 2015. – Т. 9. – № 2. – С. 9-17.
172. Николаева Е.И., Борисенкова Е.Ю. Сравнение разных способов оценки профиля функциональной сенсомоторной асимметрии у дошкольников // Асимметрия, 2008. – Т. 2. – № 1. – С. 32-39.
173. Николаева Е.И., Добрин А.В., Яворович К.Н. Эффективность латеральных показателей и профиля функциональной сенсомоторной асимметрии в прогнозе уровня психологических параметров // Функциональная межполушарная асимметрия и пластичность мозга (материалы Всероссийской конференции с международным участием) / Под ред. С.Н. Иллариошкина, В.Ф. Фокина. – М., 2012. – С. 139-142.
174. Николаенко Н.Н. Современная нейропсихология. – СПб.: Речь, 2013. – 267 с.
175. Нуркова В.В., Березанская Н.Б. Общая психология: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 604 с.
176. Ньюкиктен Ч. Детская поведенческая неврология. В двух томах. Том 2: пер. с англ. / Под ред. Н.Н. Заваденко. – М.: Теревинф, 2010. – 336 с.
177. Общая психодиагностика / Под ред. А.А. Бодалева, В.В. Столина. – СПб.: Речь, 2006. – 440 с.

178. Общая психология. Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / Под ред. В.В. Богословского и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Просвещение», 1973. – 351 с.
179. Павлова Л.П., Романенко А.Ф. Системный подход к психологическому исследованию мозга человека. – Л.: Наука, 1988. – 214 с.
180. Пайвио А. Теория двойного кодирования и обучение: пер. с англ. // Когнитивная психология: история и современность. Хрестоматия / Под ред. М. Фаликман, В. Спиридонова. – М.: Ломоносовъ, 2011. – С. 110-117.
181. Панасюк А.Ю. Адаптированный вариант методики Д. Векслера (WISC). – М.: Изд-во Мин. здрав. СССР. – 1973. – 80 с.
182. Пиаже Ж. Структуры математические и операторные структуры мышления: пер. с франц. // Преподавание математики. – М.: Учпедгиз, 1960. – С. 10-30.
183. Пиаже Ж. Психология интеллекта: пер. с фр. – СПб.: Питер, 2003. – 192 с.
184. Платон. Государство: пер. с древне-греч. // Собрание сочинений в 4 т. Т. 3 / Общ. ред. А.Ф. Лосева, В.Ф. Асмуса, А.А. Тахо-Годи. – М.: Мысль, 1994. – С. 79-420.
185. Платонов К.К. Краткий словарь системы психологических понятий: Учеб. пособие для учеб. заведений профтехобразования. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 174 с.
186. Полонская Н.Н. Нейропсихологическая диагностика детей младшего школьного возраста: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 192 с.
187. Практикум по общей психологии: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / Под ред. А.И. Щербакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Просвещение, 1990. – 288 с.
188. Прокл. Комментарий к первой книге Начал Евклида. Введение: пер. с древне-греч. – М.: Греко-латинский кабинет Ю.А. Шичалина, 1994. – 224 с.
189. Прокофьева Л.П. Синестезия в современной научной парадигме // Известия Саратовского университета. Серия Филология. Журналистика, 2010. – Т. 10. – Вып. 1. – С. 3-10.
190. Пряжников Н.С., Серебряков А.Г., Кувшинова О.Л., Алтухов В.В., Кузнецов К.Г. Диагностические материалы для профессиональной ориентации: методическое пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 368 с.
191. Психодиагностика: учебное пособие / Под общ. ред. А.К. Белоусовой, И.И. Юматовой. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. – 254 с.
192. Психологическая диагностика в практике врача / Ред.-сост. И.Ф. Дьяконов, Б.В. Овчинников. – СПб.: СпецЛит, 2008. – 143 с.

193. Пуанкаре А. Математическое творчество. Психологический этюд: пер. с франц. / Под ред. М.Г. Ребиндера. – Юрьев, 1909. – 307 с.
194. Пятница Т.В. Мой ребёнок – левша. Диагностика и обучение леворуких детей. – 2-е изд. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 315 с.
195. Пятница Т.В. Левша в начальной школе: адаптация и обучение. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2014. – 95 с.
196. Разумникова О.М. Мышление и функциональная асимметрия мозга. – Новосибирск: Издательство СО РАМН, 2004. – 272 с.
197. Рамачандран В.С. Мозг рассказывает. Что делает нас людьми: пер. с англ. / Под ред. К. Шипковой. – М.: Карьера Пресс, 2012. – 422 с.
198. Ридецкая О.Г. Психология одарённости: Учебно-практическое пособие. – М.: Изд. центр ЕАОИ, 2010. – 374 с.
199. Романова Е.С. 147 популярных профессий: Психологический анализ и профессиограммы. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Аспект Пресс, 2011. – 416 с.
200. Ротенберг В.С. Слово и образ: проблема контекста. – Вопросы философии, 1980. – № 4. – С. 152-155.
201. Ротенберг В.С. Две стороны одного мозга и творчество // Интуиция, логика, творчество / Под ред. М.И. Панова. – М.: Наука, 1987. – С. 36-54. (Ротенберг, 1987а)
202. Ротенберг В.С. Память и две стратегии мышления // Асимметрия мозга и память: сборник научных трудов / Под ред. В.Ф. Коновалова. – Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1987. – С. 124-132. (Ротенберг, 1987б)
203. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. – СПб.: Питер, 2002. – 720 с.
204. Рубинштейн С.Л. Бытие и сознание. Человек и мир. – СПб.: Питер, 2003. – 512 с.
205. Рюэль Д. Мозг математика: пер. с англ. – М., Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. – 180 с.
206. Савельев С.В., Негашева М.А. Практикум по анатомии мозга человека: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: ВЕДИ, 2001. – 192 с.
207. Садовникова И.Н. Дисграфия, дислексия: технология преодоления: пособие для логопедов, учителей, психологов, студентов педагогических специальностей. – М.: ПАРАДИГМА, 2011. – 279 с.
208. Сандберг Н., Уайнбергер А., Таплин Д. Клиническая психология. Теория, практика, исследования: пер. с англ. – СПб.: Прайм-ЕВРО-ЗНАК, 2007. – 383 с.
209. Семаго Н.Я., Семаго М.М. Теория и практика оценки психического развития ребёнка. Дошкольный и младший школьный возраст. – СПб.: Речь, 2011. – 384 с.

210. Семенов А.Л., Яценко И.В., Рослова Л.О., Кузнецова Л.В., Суворова С.Б., Трепалин А.С., Захаров П.И., Смирнов В.А., Высоцкий И.Р. ГИА: 3000 задач с ответами по математике. Все задания части 1 / Под ред. А.Л. Семенова, И.В. Яценко. – М.: Издательство «Экзамен», издательство МЦНМО, 2014. – 463 с.
211. Семенович А. В. Межполушарная организация психических процессов у левшей: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 95 с.
212. Семенович А.В. В лабиринтах развивающегося мозга. Шифры и коды нейропсихологии. – М.: Генезис, 2010. – 432 с.
213. Семенович А.В. Нейропсихологическая коррекция в детском возрасте. Метод замещающего онтогенеза: Учебное пособие. – 4-е изд. – М.: Генезис, 2011. – 474 с.
214. Семенович А.В. Введение в нейропсихологию детского возраста: Учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Генезис, 2013. – 319 с.
215. Серебряков А.Г., Хохлов Н.А., Кузнецов К.Г., Кувшинова О.Л., Григорьева И.В., Барабанов Д.Д. Моя будущая профессия. Тесты по профессиональной ориентации школьников. 9 класс: учеб. пособие для общеобразоват. организаций. – М.: Просвещение, 2017. – 80 с.
216. Сергиенко Е.А. Раннее когнитивное развитие: Новый взгляд. – М.: Издательство «Институт психологии РАН», 2006. – 464 с.
217. Сергиенко Е.А., Дозорцева А.В. Функциональная асимметрия полушарий мозга // Функциональная межполушарная асимметрия. Хрестоматия. / Под ред. Н.Н. Боголепова, В.Ф. Фокина. – М.: Научный мир, 2004. – С. 219-258.
218. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. – СПб.: Речь, 2010. – 350 с.
219. Силина Е.А., Евтух Т.В. Межполушарная асимметрия и индивидуальные различия: Монография. – Пермь: Перм. гос. пед. ун-т., 2004. – 136 с.
220. Симерницкая Э.Г. Доминантность полушарий. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 95 с.
221. Симерницкая Э.Г. Мозг человека и психические процессы в онтогенезе. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 190 с.
222. Соболева А.Е. Как подготовить ребёнка к изучению математики. – СПб.: ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО "ДЕТСТВО-ПРЕСС"», 2014. – 80 с.
223. Соболева А.Е., Печак Е.Е. Математика. Считаю уверенно. – М.: Эксмо, 2010. – 96 с.
224. Солсо Р. Когнитивная психология: пер. с англ. – 6-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 589 с.

225. Сомьен Дж. Кодирование сенсорной информации в нервной системе млекопитающих: пер. с англ. / Под ред. Е.Н. Соколова. – М.: Издательство «Мир», 1975. – 416 с.
226. Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг, правый мозг. Асимметрия мозга: пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 256 с.
227. Степанов В.Г. Профориентация. Функциональная асимметрия мозга и выбор профессии: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект, 2008. – 447 с.
228. Степанов В.Г. Мозг и эффективное развитие детей и взрослых: возраст, обучение, творчество, профориентация: Учебное пособие. – М.: Академический Проект, 2013. – 315 с.
229. Суворова В.В., Матова М.А., Туровская З.Г. Асимметрия зрительного восприятия. – М.: Педагогика, 1988. – 182 с.
230. Теплов Б.М. Проблемы индивидуальных различий. – М.: АПН РСФСР, 1961. – 536 с.
231. Тонконогий И., Пуанте А. Клиническая нейропсихология. – СПб.: Питер, 2007. – 528 с.
232. Траченко О.П. О доминантности полушарий при многократном дихотическом тестировании // Физиология человека, 1987. – Т. 13. – № 4. – С. 575-581.
233. Трегуб Л.С. Элементы современного введения в математику. Равенство. Числовые структуры. – Ташкент: Фан, 1973. – 355 с.
234. Туник Е.Е. Тест интеллекта Амтхауэра. Анализ и интерпретация данных. – СПб.: Речь, 2009. – 96 с.
235. Туркина В.М. Как развить математические способности у учащихся начальной школы: Методическое пособие. – М.: АРКТИ, 2007. – 48 с.
236. Уайтхед А.Н. Избранные работы по философии: пер. с англ. / Под ред. М.А. Кисселя. – М.: Прогресс, 1990. – 720 с.
237. Успенский В.А. Апология математики. – СПб.: Амфора. ТИД Амфора, 2011. – 554 с.
238. Ушаков Д.Н. Толковый словарь современного русского языка. – М.: «Аделант», 2013. – 800 с.
239. Физиология человека: Учебник / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Кротько. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2003. – 656 с.
240. Филимоненко Ю.И., Тимофеев В.И. Тест Векслера: диагностика уровня развития интеллекта (взрослый вариант): методическое руководство. – СПб.: ИМАТОН, 2004. – 112 с.
241. Философия науки / Под ред. С.А. Лебедева: Учебное пособие для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Академический Проект, 2010. – 731 с.

242. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Динамические характеристики функциональной межполушарной асимметрии // Функциональная межполушарная асимметрия. Хрестоматия / Под ред. Н.Н. Боголепова, В.Ф. Фокина. – М: Научный мир, 2004. – С. 349-368.
243. Фомина Е.В. Функциональная асимметрия мозга и адаптация к экстремальным спортивным нагрузкам: монография. – Омск: изд-во СибГУФК, 2006. – 196 с.
244. Фомина К.А., Ковязина М.С. Нейропсихологический подход к межанализаторному взаимодействию (МAB): современное состояние и перспективы [Электронный ресурс] // Материалы Международного молодёжного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2017» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).
245. Фридман Л.М. Теоретические основы методики обучения математике: Учебное пособие. – 3-е изд. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 248 с.
246. Фридман Л.М. Что такое математика. – 2-е изд. – М.: КомКнига, 2010. – 192 с.
247. Чангизи М. Революция в зрении: что, как и почему мы видим на самом деле: пер. с англ. – М.: Издательство АСТ, CORPUS, 2015. – 304 с.
248. Хомская Е.Д. Об асимметрии блоков мозга // Нейропсихология сегодня / Под ред. Е.Д. Хомской. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – С. 14-27.
249. Хомская Е.Д. Латеральная организация мозга как нейропсихологическая основа типологии нормы // I Международная Конференция памяти А.Р. Лурия. Сборник докладов / Под ред. Е.Д. Хомской, Т.В. Ахутиной. – М.: Издательство «Российское психологическое общество», 1998. – С. 138-144.
250. Хомская Е.Д. Нейропсихология: Учебник для вузов. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 496 с.
251. Хомская Е.Д., Ефимова И.В. Нейропсихологический подход к изучению нормы // Психологическое обеспечение психического и физического здоровья человека. Тезисы докладов к VII съезду общества психологов СССР. – М., 1989. – С. 20-23.
252. Хомская Е.Д., Ефимова И.В. К проблеме типологии индивидуальных профилей межполушарной асимметрии мозга // Вестник Моск. ун-та. Серия 14. Психология, 1991. – № 4. – С. 42-47.
253. Хомская Е.Д., Ефимова И.В., Будыка Е.В., Ениколопова Е.В. Нейропсихология индивидуальных различий. Учебное пособие. – М.: Российское педагогическое агентство, 1997. – 281 с.

254. Хомская Е.Д., Ефимова И.В., Будыка Е.В., Ениколопова Е.В. Нейропсихология индивидуальных различий: учеб. пособие для студ. учреждения высш. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 160 с.
255. Хомская Е.Д., Привалова Н.Н., Ениколопова Е.В., Ефимова И.В., Будыка Е.В., Степанова О.Б., Горина И.С. Методы оценки межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 78 с.
256. Хохлов Н.А. Нейропсихологический подход к дифференцированному обучению информатике и математике // Научно-техническое творчество молодёжи – путь к обществу, основанному на знаниях: сборник докладов IV Международной научно-практической конференции / М-во образования и науки Росс. Федерации, Правительство Москвы, Всероссийский выставочный центр, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – М.: МГСУ, 2012. – С. 449-452.
257. Хохлов Н.А. Связь межполушарных отношений с математическими способностями [Электронный ресурс] // Материалы Международного молодёжного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2014» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, М.В. Чистякова. – М.: МАКС Пресс, 2014. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). (Хохлов, 2014а)
258. Хохлов Н.А. Исследование структуры интеллекта учащихся 10 классов с помощью теста Р. Амтхауэра // Интеграция науки и образования: сборник статей Международной научно-практической конференции (13-14 июня 2014 г, г. Уфа). – Уфа: РИО ОМЕГА САЙНС, 2014. – С. 112-120. (Хохлов, 2014б)
259. Хохлов Н.А. Методы математико-статистической обработки результатов нейропсихологических исследований межполушарной асимметрии // Развитие научной мысли в современном обществе: сборник статей студентов, аспирантов, молодых учёных и преподавателей. – Уфа: Аэтерна, 2014. – С. 100-105. (Хохлов, 2014в)
260. Хохлов Н.А. Функциональная асимметрия мозга и компоненты математических способностей у студенток вузов // Фундаментальные проблемы нейронаук. Функциональная асимметрия. Нейропластичность. Нейродегенерация (Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием). / Под ред. С.Н. Иллариошкина, В.Ф. Фокина. – М.: Научный мир, 2014. – С. 389-396. (Хохлов, 2014г)
261. Хохлов Н.А. Нейропсихологический подход к профориентации школьников // Профессиональное образование и рынок труда, 2015. – № 1/2 (14). – С. 28-30. (Хохлов, 2015а)

262. Хохлов Н.А. Методика исследования межполушарного и внутриволнового взаимодействия [Электронный ресурс] // Материалы Международного молодёжного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2015» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). (Хохлов, 2015б)
263. Хохлов Н.А. Возможности исследования индивидуальных различий на основе межполушарных отношений при помощи обобщённых линейных моделей и структурного моделирования // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология, 2015. – № 2. – С. 126. (Хохлов, 2015в)
264. Хохлов Н.А. Исследование влияния показателей функциональной межполушарной асимметрии на компоненты структуры интеллекта и математические способности у студентов вузов при помощи обобщённых линейных смешанных моделей // ОТ ИСТОКОВ К СОВРЕМЕННОСТИ: 130 лет организации психологического общества при Московском университете: Сборник материалов юбилейной конференции: В 5 томах: Том 1 / Отв. ред. Д.Б. Богоявленская. – М.: Когито-Центр, 2015. – С. 257-260. (Хохлов, 2015г)
265. Хохлов Н.А. Нейропсихология математических способностей: от клинического исследования к оценке индивидуальных различий в норме [Электронный ресурс] // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие: сетевой журн., 2015. – Спец. вып., Ч. 2. – С. 400-404. – URL: [http://humjournal.rzgm.ru/upload-files/4\\_11\\_15/Special\\_issue\\_2015\\_p\\_2.pdf](http://humjournal.rzgm.ru/upload-files/4_11_15/Special_issue_2015_p_2.pdf) (дата обращения: 12.02.2018). (Хохлов, 2015д)
266. Хохлов Н.А. Тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАНС-2015». – М.: Генезис, 2015. – 80 с. (Хохлов, 2015е)
267. Хохлов Н.А. Влияние межполушарных и внутриволновых межмодальных взаимодействий на математические способности в юношеском возрасте [Электронный ресурс] // Материалы Международного молодёжного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2016» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).
268. Хохлов Н.А., Большакова С.П. Разработка и психометрическая апробация опросника мануальной функциональной асимметрии [Электронный ресурс] // Материалы Международного молодёжного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2013» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, К.К. Андреев, М.В. Чистякова. – М.: МАКС Пресс, 2013. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).

269. Хохлов Н.А., Большакова С.П., Ковязина М.С., Ениколопова Е.В. Опросник функциональной мануальной асимметрии «МГУ-2013»: методическое руководство. – М.: Генезис, 2013. – 28 с.
270. Хохлов Н.А., Бурова А.-В.В. Модификация опросника М. Аннетт для оценки функциональной асимметрии: стандартизация и психометрические характеристики // Апробация, 2014. – № 8 (23). – С. 65-73.
271. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Проблема применения и интерпретации результатов нейропсихологических проб на функциональную асимметрию мозга // Московский международный конгресс, посвящённый 110-летию со дня рождения А.Р. Лурия. Тезисы сообщений. – М., 2012. – С. 177. (Хохлов, Ковязина, 2012а)
272. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Проблема измерения межполушарной асимметрии в нейропсихологии и новый метод интегральной оценки функциональной латерализации мозга // Функциональная межполушарная асимметрия и пластичность мозга (материалы Всероссийской конференции с международным участием) / Под ред. С.Н. Иллариошкина, В.Ф. Фокина. – М., 2012. – С. 194-198. (Хохлов, Ковязина, 2012б)
273. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Латеральные признаки, структурно-уровневые характеристики интеллекта и математические способности // Асимметрия, 2013. – Т. 7. – № 3. – С. 32-52. (Хохлов, Ковязина, 2013а)
274. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Новый подход к исследованию связи межполушарных отношений с математическими способностями // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 сентября 2013 г.: в 34 частях. Часть 24 / М-во обр. и науки РФ. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 143-144. (Хохлов, Ковязина, 2013б)
275. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Нейропсихологическая методика оценки эффективности межполушарного и внутриполушарного межмодального взаимодействия в норме и патологии // Избранные вопросы нейрореабилитации: материалы VII международного конгресса «Нейрореабилитация – 2015» (Москва, 2-3 июня 2015 г.) / Под ред. Г.Е. Ивановой, Л.В. Стаховской, Ю.П. Зинченко. – М., 2015. – С. 435-438.
276. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Разработка и апробация методики диагностики эффективности межполушарного и внутриполушарного межмодального взаимодействия // Фундаментальные и прикладные проблемы нейронаук: функциональная асимметрия, нейропластичность и нейродегенерация (Материалы

- Второй Всероссийской конференции с международным участием). / Под ред. М.А. Пирадова, С.Н. Иллариошкина, В.Ф. Фокина. – М.: ФГБНУ НЦН, 2016. – С. 303-312. (Хохлов, Ковязина, 2016а)
277. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Латеральные признаки и их взаимодействие как фактор выраженности математических способностей в юношеском возрасте // Национальный психологический журнал, 2016. – № 3 (23). – С. 98-114. (Хохлов, Ковязина, 2016б)
278. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Роль межмодального взаимодействия в психологической и мозговой организации математических способностей // Национальный психологический журнал, 2016. – № 4 (24). – С. 59-70 (Хохлов, Ковязина, 2016в)
279. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки как фактор выраженности математических способностей в юношеском возрасте // Вопросы психологии, 2017. – № 4. – С. 153-163.
280. Хохлов Н.А., Мячев А.А. Исследование возможности предсказания успеваемости по алгебре, геометрии и информатике на основе результатов экспресс-тестирования // Развитие системы непрерывного профессионального образования: содержание, проблемы, перспективы: материалы 4-й Междунар. учеб.-метод. конф. / Под ред. В.Г. Агакова, А.Ю. Александрова, Е.Л. Николаева. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. – С. 140-144.
281. Хохлов Н.А., Фёдорова Е.Д. Стандартизация электронной версии корректурной пробы (теста Бурдона) // Апробация, 2016. – № 8 (47). – С. 67-74.
282. Цветкова Л.С. Нарушение и восстановление счёта при локальных поражениях мозга: Учеб. пособие. – 2-е изд. – М.: Издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2003. – 112 с.
283. Цветкова Л.С. Нейропсихология счёта, письма и чтения: нарушение и восстановление: Учеб. пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2005. – 360 с.
284. Цветкова Л.С. Мозг и интеллект: нарушение и восстановление интеллектуальной деятельности. – 2-е изд., испр. – М.: Издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2008. – 424 с.
285. Цветкова Л.С., Цветков А.В. Нейропсихология: 100 вопросов и ответов. – М.: Издательство «Спорт и Культура - 2000», 2017. – 112 с.

286. Черниговская Т.В., Балонов Л.Я., Деглин В.Л. Билингвизм и функциональная асимметрия мозга // Учёные записки Тартуского Университета: Труды по знаковым системам. – Тарту, 1983. – Вып. 16. – С. 62-83.
287. Чуприков А.П. Сенсibilизированный опросник для определения руконости для подростков и взрослых // Леворукость, антропоизометрия и латеральная адаптация. Справочные и аннотированные материалы к I Всесоюзной междисциплинарной школе-семинару «Охрана здоровья леворуких детей». – М.; Ворошиловград, 1985. – С. 128.
288. Чуприков А.П., Гнатюк Р.М. Диагностика леворукости и латеральных признаков // Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / Под ред. В.Ф. Фокина, И.Н. Боголеповой, Б. Гутника, В.И. Кобрина, В.В. Шульговского. – М.: Научный мир, 2009. – С. 638-646.
289. Чуприков А.П., Казакова С.Е. Леворукость // Фельдшер и акушерка, 1982. – № 5. – С. 26-29.
290. Чуприков А.П., Клейн В.Н., Савченко Е.Г. Схема записи латерального профиля // Леворукость, антропоизометрия и латеральная адаптация. Справочные и аннотированные материалы к I Всесоюзной междисциплинарной школе-семинару «Охрана здоровья леворуких детей». – М.; Ворошиловград, 1985. – С. 129.
291. Чуприкова Н.И. Психика и психические процессы (система понятий общей психологии). – М.: Языки славянской культуры, 2015. – 608 с.
292. Шадриков В.Д. Психология деятельности и способности человека: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательская корпорация «Логос», 1996. – 320 с.
293. Шанина Г.Е. Психологическая диагностика. Учебно-практическое пособие для студентов специальности «Психология» всех форм обучения. – М., 2010. – 216 с.
294. Шарова Е.В., Ениколопова Е.В., Зайцев О.С., Болдырева Г.Н., Трошина Е.М., Окнина Л.Б. Приёмы исследования и оценки функциональной асимметрии мозга человека в норме и патологии // Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / Под ред. В.Ф. Фокина, И.Н. Боголеповой, Б. Гутника, В.И. Кобрина, В.В. Шульговского. – М.: Научный мир, 2009. – С. 617-637.
295. Шварц А.Ю. Роль чувственных представлений в математическом познании и понимании математики [Электронный ресурс] // Психологические исследования: электрон. науч. журн., 2011. – № 3 (17) – URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2011n3-17/496-shvarts17.html> (дата обращения: 12.02.2018).
296. Шелопуха О.А. Левша и правша. – М.: ЗАО «ОЛМА Медиа групп», 2011. – 320 с.

297. Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н., Погосян А.А. О роли различных зон коры и их связей в формировании пространственной упорядоченности поля биопотенциалов мозга в постнатальном онтогенезе // Физиология человека, 1997. – Т. 23. – № 2. – С. 12-24.
298. Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А., Коробейников А.И., Назарова С.А., Петров С.В., Суфиянов В.Г. Наглядная статистика. Используем R! – М.: ДМК Пресс, 2017. – 298 с.
299. Энгельс Ф. Диалектика природы // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. Т. 20. – 2-е изд. – М.: Государственное издательство политической литературы, 1961. – С. 343-626.
300. Энциклопедия психодиагностики. Психодиагностика взрослых. – Самара: Издательский Дом «Бахрах-М», 2009. – 704 с.
301. Ясюкова Л.А. Тест структуры интеллекта Амтхауэра. – СПб.: ИМАТОН, 2007. – 80 с.
302. Akelaitis A.J. A study of gnosis, praxis and language following partial and complete section of the corpus callosum // Transactions of the American Neurological Association, 1940. – Vol. 66. – P. 182-185.
303. Akelaitis A.J. Psychobiological studies following section of the corpus callosum // American Journal of Psychiatry, 1941. – Vol. 97. – P. 1147-1157. (Akelaitis, 1941a)
304. Akelaitis A.J. Studies of the corpus callosum. II. The higher visual functions in each homonymous field following complete section of the corpus callosum // Archives of Neurology and Psychiatry, 1941. – Vol. 45. – P. 788-796. (Akelaitis, 1941b)
305. Akelaitis A.J. Studies on the corpus callosum. III. A contribution to the study of dyspraxia and apraxia following partial and complete section of the corpus callosum // Archives of Neurology and Psychiatry, 1942. – Vol. 47. – P. 971-1008. (Akelaitis, 1942a)
306. Akelaitis A.J. Studies on the corpus callosum. VI. Orientation (temporal-spatial) gnosis following section of the corpus callosum // Archives of Neurology and Psychiatry, 1942. – Vol. 48. – P. 914-937. (Akelaitis, 1942b)
307. Akelaitis A.J. Studies on the corpus callosum. VII. Study of language functions (tactile and visual lexia and graphia) unilaterally following section of the corpus callosum // Journal of Neuropathology and Experimental Neurology, 1943. – Vol. 2. – P. 226-262.
308. Akelaitis A.J. A study of gnosis, praxis and language following section of the corpus callosum and the anterior commissure // Journal of Neurosurgery, 1944. – Vol. 1. – P. 94-102.

309. Akelaitis A.J. Studies on the corpus callosum: IV. Diagnostic dyspraxia in epileptics following partial and complete section of the corpus callosum // *American Journal of Psychiatry*, 1945. – Vol. 101. – P. 594-599.
310. Akelaitis A.J., Risteen W.A., Herren R.Y., Van Wagenen W.P. The contribution to the study of dyspraxia and apraxia following partial and complete section of the corpus callosum // *Transactions of the American Neurological Association*, 1941. – Vol. 67. – P. 75-78.
311. Akelaitis A.J., Risteen W.A., Van Wagenen W.P. Studies on the corpus callosum. IX. Relationship of the grasp reflex to section of the corpus callosum // *Archives of Neurology and Psychiatry*, 1943. – Vol. 49. – P. 820-825.
312. Allerhand M. *A Tiny Handbook of R.* – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2011. – 83 pp.
313. Amalric M., Dehaene S. Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016. – Vol. 113 (18). – P. 4909-4917.
314. Amedi A., Raz N., Azulay H., Malach R., Zohary E. Cortical activity during tactile exploration of objects in blind and sighted humans // *Restorative Neurology and Neuroscience*, 2010. – Vol. 28 (2). – P. 143-156.
315. Amthauer R. *Intelligenz-Struktur-Test (I-S-T): Handanweisung für die Durchführung und Auswertung.* – Göttingen: Hogrefe, 1953. – 38 ss.
316. Annett M. A classification of hand preference by association analysis // *British Journal of Psychology*, 1970. – Vol. 61 (3). – P. 303-321.
317. Annett M. *Assessment of Laterality* // *A Handbook of Neuropsychological Assessment* / Edited by J.R. Crawford, D.M. Parker, W.W. McKinlay. – Hove: Lawrence Erlbaum Associates Ltd., 1992. – P. 51-70.
318. Annett M. Patterns of hand preference for pairs of actions and the classification of handedness // *British Journal of Psychology*, 2009. – Vol. 100 (3). – P. 491-500.
319. Annett M., Kilshaw D. Mathematical ability and lateral asymmetry // *Cortex*, 1982. – Vol. 18 (46). – P. 547-568.
320. Arend I., Gertner L., Henik A. Perceiving numbers influences actions in number-space synesthesia // *Cortex*, 2013. – Vol. 49 (7). – P. 1955-1962.
321. Ashcraft M.H., Yamashita T.S., Aram D.M. Mathematics performance in left and right brain-lesioned children and adolescents // *Brain and Cognition*, 1992. – Vol. 19 (2). – P. 208-252.

322. Aydarkin E.K., Bogun A.S. Influence of simple verbal and non-verbal stimuli on brain electrical activity // *Journal of Integrative Neuroscience*, 2009. – Vol. 8 (4). – P. 417-424.
323. Aydarkin E.K., Fomina A.S. Neurophysiological mechanisms of complex arithmetic task solving // *Journal of Integrative Neuroscience*, 2013. – Vol. 12 (1). – P. 73-89.
324. Ayres A.J. *Sensory Integration and the Child*. – Los Angeles: Western Psychological Association, 1979. – 191 pp.
325. Bach-y-Rita P., Collins C.C., Saunders F.A., White B., Scadden L. Vision substitution by tactile image projection // *Nature*, 1969. – Vol. 221 (5184). – P. 963-964.
326. Barnsley R.H., Rabinovitch M.S. Handedness: proficiency versus stated preference // *Perceptual and motor skills*, 1970. – Vol. 30. – P. 343-362.
327. Baxter M.G. Involvement of medial temporal lobe structures in memory and perception // *Neuron*, 2009. – Vol. 61 (5). – P. 667-677.
328. Benton A.L., Joynt R.J. Early descriptions of aphasia // *Archives of neurology*, 1960. – Vol. 3. – P. 205-222.
329. Berman A. The problem of assessing cerebral dominance and its relationship to intelligence // *Cortex*, 1971. – Vol. 7 (4). – P. 372-386.
330. Bernal B., Altman N.R., Medina L.S. Dissecting nonverbal auditory cortex asymmetry: an fMRI study // *The International journal of neuroscience*, 2004. – Vol. 114 (5). – P. 661-680.
331. Bogen J.E., Vogel P.J. Cerebral commissurotomy in man. Preliminary case report // *Bulletin of the Los Angeles Neurological Society*, 1962. – Vol. 27. – P. 169-172.
332. Bourdon B., Observations comparatives sur la reconnaissance, la discrimination et l'association // *Revue Philosophique de la France et de l'étranger*, 1895. – Bd. 20. – S. 153-185.
333. Breasted J.H. *The Edwin Smith Surgical Papyrus* (2 volumes) // *The University of Chicago Oriental Institute Publications*. – Vol. 3-4. – Chicago: The University of Chicago Press, 1930. – 596 pp.
334. Broca P. Perte de la parole, ramollissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche. Sur le siege de la faculté du langage // *Bulletin de la Société d'Anthropologie*, 1861. – T. II. – P. 235-238.
335. Brogaard B., Vanni S., Silvanto J. Seeing mathematics: perceptual experience and brain activity in acquired synesthesia // *Neurocase*, 2013. – Vol. 19 (6). – P. 566-575.
336. Brown W. An objective study of mathematical intelligence // *Biometrika*, 1910. – Vol. 7 (3). – P. 352-267.

337. Bryden M.P. Measuring handedness with questionnaires // *Neuropsychologia*, 1977. – Vol. 15. – P. 617-624.
338. Butefisch C.M. Plasticity in the human cerebral cortex: lessons from the normal brain and from stroke // *Neuroscientist*, 2004. – Vol. 10. – P. 163-173.
339. Cai Q., Van der Haegen L., Brysbaert M. Complementary hemispheric specialization for language production and visuospatial attention // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013. – Vol. 110 (4). – P. 322-330.
340. Calvert G.A. Crossmodal processing in the human brain: insights from functional neuroimaging studies // *Cerebral Cortex*, 2001. – Vol. 11 (12). – P.1110-1123.
341. Catani M., de Schotten M.T. *Atlas of Human Brain Connections*. – New York: Oxford University Press, 2012. – 519 pp.
342. Chadwick J., Mann W.N. *The Medical Works Of Hippocrates*. – London: Penguin Books, 1950. – 301 pp.
343. Chlebus P., Mikl M., Brázdil M., Pazourková M., Krupa P., Rektor I. fMRI evaluation of hemispheric language dominance using various methods of laterality index calculation // *Experimental Brain Research*, 2007. – Vol. 179 (3). – P. 365-374.
344. Clarke B. Arthur Wigan and The Duality of the Mind // *Psychological medicine. Monograph supplement*, 1987. – Vol. 11. – P. 1-52.
345. Clarke T.L., Deheane S. Cerebral networks for number processing – evidence from a case of posterior callosal lesion // *Neurocase*, 1996. – Vol. 2 (3). – P. 155-173.
346. Cohen Kadosh R., Henik A. Color congruity effect: where do colors and numbers interact in synesthesia? // *Cortex*, 2008. – Vol. 42 (2). – P. 259-263.
347. Crollen V., Noël M.P. Spatial and numerical processing in children with high and low visuospatial abilities // *Journal of Experimental Child Psychology*, 2015. – Vol. 132. – P. 84-98.
348. Crovitz H.F., Zener K.A. A group test for assessing hand and eye-dominance // *American Journal of Psychology*, 1962. – Vol. 75. – P. 271-276.
349. Cutini S., Scarpa F., Scatturin P., Dell'Acqua R., Zorzi M. Number-space interactions in the human parietal cortex: Enlightening the SNARC effect with functional near-infrared spectroscopy // *Cerebral Cortex*, 2014. – Vol. 24 (2). – P. 444-451.
350. Cytowic R.E. *Synesthesia: A Union of the Senses*. – 2nd ed. – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2002. – 424 pp.
351. Dalgaard P. *Introductory Statistics with R*. – 2nd ed. – New York: Springer-Verlag, 2008. – 364 pp.

352. Dax M. Lésions de la moitié gauche de l'encéphale coïncident avec l'oubli des signes de la pensée (lu à Montpellier en 1836) // Bulletin hebdomadaire de médecine et de chirurgie, 2me série, 1865. – № 2. – P. 259-262.
353. Dehaene S., Bossini S., Giraux P. The mental representation of parity and number magnitude // Journal of Experimental Psychology, 1993. – Vol. 122 (3). – P. 371-396.
354. Dennis M., Whitaker, H. Language acquisition following hemidecortication: Linguistic superiority of the left over the right hemisphere // Brain and Language, 1976. – Vol. 3. – P. 404-433.
355. Doehrmann O., Naumer M.J. Semantics and the multisensory brain: how meaning modulates processes of audio-visual integration // Brain Research, 2008. – Vol. 1242. – P. 136-150.
356. Eagleman D.M. The objectification of overlearned sequences: a new view of spatial sequence synesthesia // Cortex, 2009. – Vol. 45 (10). – P. 1266-1277.
357. Evans T.M., Kochalka J., Ngoon T.J., Wu S.S., Qin S., Battista C., Menon V. Brain Structural Integrity and Intrinsic Functional Connectivity Forecast 6 Year Longitudinal Growth in Children's Numerical Abilities // Journal of Neuroscience, 2015. – Vol. 35 (33). – P. 11743-11750.
358. Feigenson L. Predicting sights from sounds: 6-month-olds' intermodal numerical abilities // Journal of Experimental Child Psychology, 2011. – Vol. 110 (3). – P. 347-361.
359. Fischer M.H., Shaki S. Spatial associations in numerical cognition – from single digits to arithmetic // Quarterly journal of experimental psychology, 2014. – Vol. 67 (8). – P. 1461-1483.
360. Foer J. Moonwalking with Einstein: The Art and Science of Remembering Everything. – London: Penguin Books, 2012. – 307 pp.
361. Funnell M.G., Colvin M.K., Gazzaniga M.S. The calculating hemispheres: Studies of a split-brain patient // Neuropsychologia, 2007. – Vol. 45 (10). – P. 2378-2386.
362. Fyhn M., Molden S., Witter M.P., Moser E.I., Moser M.B. Spatial representation in the entorhinal cortex // Science, 2004. – Vol. 305 (5688). – P. 1258-1264.
363. Galton F. Visualised numerals // Nature, 1880. – Vol. 21. – P. 252-256, 494-495.
364. Galton F. The visions of sane persons // Proceedings of the Royal Institution, 1881. – Vol. 9. – P. 644-655.
365. Gazzaniga M.S. One Brain – Two Minds? // American Scientist, 1972. – Vol. 60. – P. 311-317.

366. Gazzaniga M.S., Bogen J.E., Sperry R.W. Observations on visual perception after disconnexion of the cerebral hemispheres in man // *Brain*, 1965. – Vol. 88 (2). – P. 221-236.
367. Gazzaniga M.S., LeDoux J.E. *The Integrated Mind*. – New York: Plenum Press, 1978. – 184 pp.
368. Gertner L., Arend I., Henik A. Numerical synesthesia is more than just a symbol-induced phenomenon [electronic resource] // *Frontiers in Psychology*, 2013. – Vol. 4. – A. 860. – doi: 10.3389/fpsyg.2013.00860 – URL: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2013.00860/full> (access date: 18.07.2017).
369. Geschwind N. The anatomical basis of hemispheric differentiation // *Hemisphere function in the human brain* / Edited by S.J. Dimond, J.G. Beaumont. – New York: Wiley, 1974. – P. 7-24.
370. Ghirardelli T.G., Mills C.B., Zilioli M.K., Bailey L.P., Kretschmar P.K. Synesthesia affects verification of simple arithmetic equations // *The Journal of general psychology*, 2010. – Vol. 137 (2). – P. 175-189.
371. Glass A., Butler S.R., Carter J.C. Hemispheric asymmetry of EEG alpha activation: Effects of gender and familial handedness // *Biological Psychology*, 1984. – Vol. 19 (3-4). – P. 169-187.
372. Grabow J.D., Aronson A.E., Greene K.L., Offord K.P. A comparison of EEG activity in the left and right cerebral hemispheres by power-spectrum analysis during language and non-language tasks // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1979. – Vol. 47 (4). – P. 460-472.
373. Graham K.S., Gaffan D. The role of the medial temporal lobe in memory and perception: evidence from rats, nonhuman primates and humans // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. B: Comparative and Physiological Psychology*, 2005. – Vol. 58 (3-4). – P. 193-201.
374. Green J.A., Goswami U. Synesthesia and number cognition in children // *Cognition*, 2008. – Vol. 106 (1). – P. 463-473.
375. Grossberg S., Repin D.V. A neural model of how the brain represents and compares multi-digit numbers: spatial and categorical processes // *Neural Networks*, 2003. – Vol. 16 (8). – P. 1107-1140.
376. Gruber Éd. L'audition colorée et les phénomènes similaires // *Revue scientifique*, 1893. – T. 51. – S. 394-398.

377. Hale J., Thompson J.M., Morgan H.M., Cappelletti M., Kadosh R.C. Better together? The cognitive advantages of synaesthesia for time, numbers, and space // *Cognitive Neuropsychology*, 2014. – Vol. 31 (7-8). – P. 545-564.
378. Hannaford C. *The Dominance Factor: How Knowing Your Dominant Eye, Ear, Brain, Hand, & Foot Can Improve Your Learning*. – Arlington: Great Ocean Publishers, 1997. – 144 pp.
379. Harrington A. *Medicine, Mind, and the Double Brain: A Study in Nineteenth-Century Thought*. – Princeton: Princeton University Press, 1989. – 354 pp.
380. Hochel M., Milán E.G. Synaesthesia: the existing state of affairs // *Cognitive neuropsychology*, 2008. – Vol. 25 (1). – P. 93-117.
381. Hubbard E.M., Pinel P., Piazza M., Dehaene S. Interactions between numbers and space in parietal cortex // *Nature Reviews Neuroscience*, 2005. – Vol. 6. – P. 435-448.
382. Hugdahl K. Symmetry and asymmetry in the human brain // *European Review*, 2005. – Vol. 13 (2). – P. 119-133.
383. Hugdahl K., Brønnick K., Law I., Kyllingsbæk S., Paulson O.B. Brain activation during dichotic presentations of consonant-vowel and musical instruments stimuli: a 15O-PET study // *Neuropsychologia*, 1999. – Vol. 37. – P. 431-440.
384. Hugdahl K., Carlsson G., Uvebrant P., Lundervold A. J. Dichotic listening performance and intracarotid amobarbital injections in children/adolescent: comparisons pre- and post-operatively // *Archives of Neurology*, 1997. – Vol. 54. – P. 1494-1500.
385. Jackson J.H. On the nature of the duality of the brain // *Medical Press and Circular*, 1874. – Vol. 1. – P. 80-86.
386. James I. Autism and Mathematical Talent // *Mathematical Intelligencer*, 2003. – Vol. 25 (4). – P. 62-65.
387. Khokhlov N.A., Kovyazina M.S. Methodical and methodological problems in the study of functional brain asymmetry in the modern neuropsychology // *Acta Neuropsychologica*, 2013. – Vol. 11 (3). – P. 269-278.
388. Khokhlov N.A., Kovyazina M.S. The discrepancy of the asymmetries of different analyzers reduces mathematical abilities in adolescence // *Acta Neuropsychologica*, 2016. – Vol. 14 (3). – P. 231-240
389. Kimura D. Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli // *Canadian Journal of Psychology*, 1961. – Vol. 15 (3). – P. 166-171.
390. Knops A., Willmes K. Numerical ordering and symbolic arithmetic share frontal and parietal circuits in the right hemisphere // *NeuroImage*, 2014. – Vol. 84. – P. 786-795.

391. Kosslyn S.M. Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach // *Psychological Review*, 1987. – Vol. 94 (2). – P. 148-175 (erratum in *Psychological Review*, 1988. – Vol. 95 (2). – P. 255).
392. Kovyazina M.S., Khokhlov N.A., Morozova N.V. The connection of hemispheric activity in the field of audioverbal perception and the progressive lateralization of speech and motor processes // *Psychology in Russia: State of the Art*, 2015. – Vol. 8 (4). – P. 45-55.
393. Krisztián Á., Bernáth L., Gombos H., Vereczkei L. Developing numerical ability in children with mathematical difficulties using origami // *Perceptual and motor skills*, 2015. – Vol. 121 (1). – P. 233-243.
394. Lakoff G., Núñez R. Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being. – New York: Basic Books, 2000. – 492 pp.
395. Lampl Y., Eshel Y., Gilad R., Sarova-Pinhas I. Selective acalculia with sparing of the subtraction process in a patient with left parietotemporal hemorrhage // *Neurology*, 1994. – Vol. 44 (9). – P. 1759-1761.
396. Lee K., Ng S.F. Neuroscience and the Teaching of Mathematics // *Educational Philosophy and Theory*, 2011. – Vol. 43 (1). – P. 81-86.
397. Liepmann H. Die linke Hemisphäre und das Handeln // *Münchener Medizinische Wochenschrift*, 1905. – Bd. 49. – S. 2322-2326, 2375-2378.
398. Lokhorst G.J.C. The first theory about hemispheric specialization: Fresh light on an old codex // *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, 1996. – Vol. 51 (3). – P. 293-312.
399. Lyons I.M., Ansari D. Foundations of children's numerical and mathematical skills: the roles of symbolic and nonsymbolic representations of numerical magnitude // *Advances in Child Development and Behavior*, 2015. – Vol. 48. – P. 93-116.
400. Maindonald J., Braun W.J. Data Analysis and Graphics Using R: An Example-Based Approach. – 3d ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – 549 pp.
401. Manual of phrenology: being an analytical summary of the system of Doctor Gall, on the faculties of man and the functions of the brain: translated from the fourth French edition. – Philadelphia: Carey, Lea & Blanchard, 1835. – 257 pp.
402. Matejko A.A., Ansari D. Trajectories of Symbolic and Nonsymbolic Magnitude Processing in the First Year of Formal Schooling [electronic resource] // *PLoS One*, 2016. – Vol. 11 (3). – doi: 10.1371/journal.pone.0149863 – URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0149863> (access date: 18.07.2017).

403. McCarthy J.D., Barnes L.N., Alvarez B.D., Caplovitz G.P. Two plus blue equals green: grapheme-color synesthesia allows cognitive access to numerical information via color // *Consciousness and Cognition*, 2013. – Vol. 22 (4). – P. 1384-1392.
404. Mensenkamp L.E. Tests of mathematical ability and their prognostic values // *School Science and Mathematics*, 1921. – Vol. 21 (20). – P. 150-162.
405. Mills C.B., Metzger S.R., Foster C.A., Valentine-Gresko M.N., Ricketts S. Development of color-grapheme synesthesia and its effect on mathematical operations // *Perception*, 2009. – Vol. 38 (4). – P. 591-605.
406. Milner B. Hemispheric specialization: scope and limits // *The Neurosciences: Third Study Program* / Edited by F.O. Schmitt, F.G. Worden. – Cambridge, MA: MIT Press, 1974. – P. 75-89.
407. Minkowski M. On aphasia in polyglots // *Problems of dynamic neurology* / Edited by L. Halpern. – Jerusalem: Hebrew University, 1963. – P. 119-161.
408. Molko N., Cachia A., Rivière D., Mangin J.F., Bruandet M., Le Bihan D., Cohen L., Dehaene S. Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin // *Neuron*, 2003. – Vol. 40 (4). – P. 847-858.
409. Mullan S., Penfield W. Illusions of comparative interpretation and emotion; production by epileptic discharge and by electrical stimulation in the temporal cortex // *Archives of Neurology and Psychiatry*, 1959. – Vol. 81 (3). – P. 269-284.
410. Musálek M. Development of Test Batteries for Diagnostics of Motor Laterality Manifestation: Link between Cerebellar Dominance and Hand Performance. – 1st English ed. – Prague: Karolinum, 2013. – 248 pp.
411. Myers R.E., Sperry, R.W. Interocular transfer of a visual form discrimination habit in cats after section of the optic chiasm and corpus callosum // *Anatomical Record*, 1953. – Vol. 115. – P. 351-352.
412. Neville H.J., Bavelier, D. Specificity and plasticity in neurocognitive development in humans // *The New Cognitive Neurosciences*. – 2nd ed. / Edited by M.S. Gazzaniga et al. – Cambridge, MA: MIT Press, 2000. – P. 83-99.
413. Oldham H.W. A psychological study of mathematical ability with special reference to school mathematics // *British Journal of Educational Psychology*, 1937. – Vol. 7 (3). – P. 269-286.
414. Oldham H.W. A psychological study of mathematical ability with special reference to school mathematics // *British Journal of Educational Psychology*, 1938. – Vol. 8 (1). – P. 16-28.

415. Paivio A. Imagery and verbal processes. – New York: Holt, Rinehart and Winston, 1971. – 596 pp.
416. Penfield W., Roberts I. Speech and Brain-Mechanisms. – Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1959. – 300 pp.
417. Piazza M., Izard V. How humans count: numerosity and the parietal cortex // *Neuroscientist*, 2009. – Vol. 15 (3). – P. 261-273.
418. Price G.R., Holloway I., Räsänen P., Vesterinen M., Ansari D. Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia // *Current Biology*, 2007. – Vol. 17 (24). – P. 1042-1043.
419. Ramachandran V.S., Hubbard E.M. Synaesthesia – a window into perception, thought and language // *Journal of Consciousness Studies*, 2001. – Vol. 8 (12). – P. 3-34.
420. Riccò D, de Córdoba Serrano M.J., Day S.A. Synaesthesia: Theoretical, artistic and scientific foundations. – Granada: Ediciones Fundación Internacional ArteCittà, 2014. – 372 pp.
421. Rickard T.C., Romero S.G., Basso G., Wharton C., Flitman S., Grafman J. The calculating brain: an fMRI study // *Neuropsychologia*, 2000. – Vol. 38 (3). – P. 325-335.
422. Robbins K.I., McAdam D.W. Interhemispheric alpha asymmetry and imagery mode // *Brain & Language*, 1974. – Vol. 1. – P. 189-193.
423. Robertson L.C., Sagiv N. Synesthesia: Perspectives from Cognitive Neuroscience. – Oxford: Oxford University Press, 2004. – 304 pp.
424. Rouw R., Scholte H.S., Colizoli O. Brain areas involved in synaesthesia: a review // *Journal of neuropsychology*, 2011. – Vol. 5 (2). – P. 214-242.
425. Sagiv N., Ward J. Crossmodal interactions: lessons from synesthesia // *Progress in Brain Research*, 2006. – Vol. 155. – P. 259-271.
426. Sakano N. Latent left-handedness. Its relation to hemispheric and psychological functions. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1982. – 122 pp.
427. Simner J. Defining synaesthesia // *British journal of psychology*, 2012. – Vol. 103 (1). – P. 1-15.
428. Simner J., Ludwig V.U. The color of touch: a case of tactile-visual synaesthesia // *Neurocase*, 2012. – Vol. 18 (2). – P. 167-180.
429. Simon J.R., Wolf J.D. Choice reaction time as a function of angular stimulus-response correspondence and age // *Ergonomics*, 1963. – Vol. 6 (1). – P. 99-105.
430. Singh H., O'Boyle M.W. Interhemispheric Interaction During Global-Local Processing in Mathematically Gifted Adolescents, Average-Ability Youth, and College Students // *Neuropsychology*, 2004. – Vol. 18 (2). – P. 371-377.

431. Smith K.U. Learning and associative pathways of the human cerebral cortex // *Science*, 1951. – Vol. 114. – P. 117-120.
432. Smith K.U., Akelaitis A.J. Studies on the corpus callosum. I. Laterality in behavior and bilateral motor organization before and after section of the corpus callosum // *Archives of the Neurology and Psychiatry*, 1942. – Vol. 47. – P. 519-543.
433. Spence C. Crossmodal correspondences: A tutorial review // *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2011. – Vol. 73 (4). – P. 971-995.
434. Spence C., Senkowski D. Crossmodal processing // *Experimental Brain Research*, 2009. – Vol. 198 (2-3). – P. 107-111.
435. Stanescu-Cosson R., Pinel P., van De Moortele P.F., Le Bihan D., Cohen L., Dehaene S. Understanding dissociations in dyscalculia: a brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation // *Brain*, 2000. – Vol. 123 (11). – P. 2240-2255.
436. Starr A., Libertus M.E., Brannon E.M. Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013. – Vol. 110 (45). – P. 18116-18120.
437. Striem-Amit E., Amedi A. Visual cortex extrastriate body-selective area activation in congenitally blind people «seeing» by using sounds // *Current Biology*, 2014. – Vol. 24 (6). – P. 687-692.
438. Suarez de Mendoza F. L'audition colorée. Étude sur les fausses sensations secondaires physiologiques et particulièrement sur les pseudo-sensations de couleurs associées aux perceptions objectives des sons // *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 1891. – Bd. 31. – S. 644-647.
439. Supekar K., Swigart A.G., Tenison C., Jolles D.D., Rosenberg-Lee M., Fuchs L., Menon V. Neural predictors of individual differences in response to math tutoring in primary-grade school children // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013. – Vol. 110 (20). – P. 8230-8235.
440. Suzuki W.A. Perception and the medial temporal lobe: evaluating the current evidence // *Neuron*, 2009. – Vol. 61 (5). – P. 657-666.
441. Suzuki W.A., Baxter M.G. Memory, perception, and the medial temporal lobe: a synthesis of opinions // *Neuron*, 2009. – Vol. 61 (5). – P. 678-679.
442. Suzuki W.A., Miller E.K., Desimone R. Object and place memory in the macaque entorhinal cortex // *Journal of Neurophysiology*, 1997. – Vol. 78 (2). – P. 1062-1081.
443. Thatcher R.W. Cyclic cortical reorganization during early childhood // *Brain and Cognition*, 1992. – Vol. 20 (1). – P. 24-50.

444. Thatcher R.W. Cyclical cortical reorganization: Origins of human cognitive development // Human behavior and the developing brain / Edited by G. Dawson & K.W. Fischer. – New York: Guilford Press, 1994. – P. 232-266.
445. Thatcher R.W. Neuroimaging of cyclic cortical reorganization during human development // Developmental neuroimaging: mapping the development of brain and behavior / Edited by R.W. Thatcher, G. Reid Lyon, J. Rumsey, & N. Krasnegor. – San Diego, CA: Academic Press, 1996. – P. 91-106.
446. The Neuropsychology of Individual Differences / Edited by Ph.A. Vernon. – San Diego, London: Academic Press, 1994. – 272 pp.
447. Thompson J.M., Nuerk H.-C., Moeller K., Cohen Kadosh R. The link between mental rotation ability and basic numerical representations // Acta Psychologica, 2013. – Vol. 144 (2). – P. 324-331.
448. Trudeau N., Colozzo P., Sylvestre V., Ska B. Language following functional left hemispherectomy in bilingual teenager // Brain and Cognition, 2003. – Vol. 53 (2). – P. 384-388.
449. Van Campen C. The Hidden Sense. Synesthesia in Art and Science. – Cambridge: MIT Press, 2007. – 198 pp.
450. Van der Haegen L., Westerhausen R., Hugdahl K., Brysbaert M. Speech dominance is a better predictor of functional brain asymmetry than handedness: A combined fMRI word generation and behavioral dichotic listening study // Neuropsychologia, 2013. – Vol. 51 (1). – P. 91-97.
451. Van Wagenen W.P., Herren R.Y. Surgical division of commissural pathways in the corpus callosum // Archives of Neurology & Psychiatry, 1940. – Vol. 44. – P. 740-759.
452. Wada J. A new method for the determination of the side of cerebral speech dominance. A preliminary report of the intra-carotid injection of sodium amytal in man // Igaku to Seibutsugaku, 1949. – Vol. 14. – P. 221-222.
453. Wang L., Uhrig L., Jarraya B., Dehaene S. Representation of Numerical and Sequential Patterns in Macaque and Human Brains // Current Biology, 2015. – Vol. 25 (15). – P. 1966-1974.
454. Ward J. Synesthesia // Annual Review of Psychology, 2013. – Vol. 64. – P. 49-75.
455. Ward J., Wright T. Sensory substitution as an artificially acquired synaesthesia // Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 2014. – Vol. 41. – P. 26-35.
456. Wechsler D. Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale. – New York: The Psychological Corporation, 1955. – 110 pp.

457. Wei W., Chen C., Yang T., Zhang H., Zhou X. Dissociated neural correlates of quantity processing of quantifiers, numbers, and numerosities // *Human Brain Mapping*, 2014. – Vol. 35 (2). – P. 444-454.
458. Wei W., Yuan H., Chen C., Zhou X. Cognitive correlates of performance in advanced mathematics // *British Journal of Educational Psychology*, 2012. – Vol. 82 (1). – P. 157-181.
459. Wernicke C. *Der Aphasische Symptomencomplex: Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis.* – Breslau: Cohn and Weigert, 1874. – 72 ss.
460. Westerhausen R., Kompus K., Hugdahl K. Mapping hemispheric symmetries, relative asymmetries, and absolute asymmetries underlying the auditory laterality effect // *NeuroImage*, 2014. – Vol. 84. – P. 962-970.
461. Wigan A.L. *The duality of the mind.* – London: Longman, Brown, Green & Longmans, 1844. – 459 pp.
462. Witter M.P., Wouterlood F.G., Naber P.A., Van Haeften T. Anatomical organization of the parahippocampal-hippocampal network // *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2000. – Vol. 911. – P. 1-24.
463. Yau J.M., Olenczak J.B., Dammann J.F., Bensmaia S.J. Temporal frequency channels are linked across audition and touch // *Current biology*, 2009. – Vol. 19 (7). – P. 561-566.
464. Zaidel E. Technique for presenting lateralized visual input with prolonged exposure // *Vision Research*, 1975. – Vol. 15. – P. 283-289.
465. Zhang S.J., Ye J., Couey J.J., Witter M., Moser E.I., Moser M.B. Functional connectivity of the entorhinal-hippocampal space circuit [electronic resource] // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2014. – Vol. 369 (1635): 20120516. – doi: 10.1098/rstb.2012.0516 – URL: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/369/1635/20120516> (access date: 18.07.2017).

## Приложения

### Приложение 1. Задания теста на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015»

|                                                                                                          |   |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------|
| I-Вн                                                                                                     |   | <b>1</b> |
| Сколько чисел совпадают в последовательностях:<br>«23 73 91 24 62 12 66 77» и «99 92 34 73 76 12 43 44»? |   |          |
| 1)                                                                                                       | 2 |          |
| 2)                                                                                                       | 1 |          |
| 3)                                                                                                       | 3 |          |
| 4)                                                                                                       | 0 |          |

|                                                                                 |                                  |          |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------|
| I-Вн                                                                            |                                  | <b>2</b> |
| Какая строчка отличается от остальных количеством чисел,<br>содержащих цифру 8? |                                  |          |
| 1)                                                                              | 23 82 24 86 22 40 53 13 23 24 34 |          |
| 2)                                                                              | 44 32 21 99 83 54 22 91 87 67 90 |          |
| 3)                                                                              | 19 32 42 85 19 81 16 11 63 99 72 |          |
| 4)                                                                              | 28 22 12 27 54 82 13 66 78 15 42 |          |

|                                                                                     |                         |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|
| I-Вн                                                                                |                         | <b>3</b> |
| Выберите строчку, в которой последовательность «487»<br>повторяется ровно два раза: |                         |          |
| 1)                                                                                  | 77549487617267726462413 |          |
| 2)                                                                                  | 71634875718271548714146 |          |
| 3)                                                                                  | 54871462487432148723124 |          |
| 4)                                                                                  | 78927743862892646487263 |          |

|                                                                              |                     |   |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---|
| I-Vн                                                                         |                     | 4 |
| Выберите строчку, в которой количество гласных букв отличается от остальных: |                     |   |
| 1)                                                                           | прфовифрырнлдфмнкгд |   |
| 2)                                                                           | двфучднкырфоцпкигшз |   |
| 3)                                                                           | джнгкэупондлпдлпопк |   |
| 4)                                                                           | щзлопндлжакжгадфикц |   |

|                                                           |                             |   |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|---|
| I-Vн                                                      |                             | 5 |
| Выберите строчку, в которой количество букв «А» меньше 5: |                             |   |
| 1)                                                        | ГАНРАРЕГРАНПОАНИРЕЦАИРНЦАРЕ |   |
| 2)                                                        | ЛОРНЦАНРЫУЙУЖВАНРИБННЕАУПКУ |   |
| 3)                                                        | ДАНРРОЫНАНТНШРАНГРЦНШАНЦАТД |   |
| 4)                                                        | ДЕНУПУАНРЦАНЦГТИАНЦТНАОЕМАН |   |

|                                                                 |                    |   |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------|---|
| I-Vн                                                            |                    | 6 |
| Выберите строчку, в которой буква «я» встречается меньше 5 раз: |                    |   |
| 1)                                                              | кпаякцяуцявмяцяклд |   |
| 2)                                                              | даявяцяямияфвяупжа |   |
| 3)                                                              | жяымявцяыпяциящфп  |   |
| 4)                                                              | ууцяацаякаяцждыяне |   |

|                                                   |                    |   |
|---------------------------------------------------|--------------------|---|
| I-Вн                                              |                    | 7 |
| В какой строчке<br>не встречается сочетание «а7»? |                    |   |
| 1)                                                | ыеа79ыю28ылор7в3п1 |   |
| 2)                                                | вп78а92а27а17ап1у2 |   |
| 3)                                                | оррш7лга7шщдшад4р8 |   |
| 4)                                                | в2рлв906роа7лгыт23 |   |

|                                                                |                     |   |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|---|
| I-Вн                                                           |                     | 8 |
| Выберите строчку,<br>в которой цифра «8» встречается не 8 раз: |                     |   |
| 1)                                                             | 2348284828482848586 |   |
| 2)                                                             | 4485828582858285896 |   |
| 3)                                                             | 1128284848385828543 |   |
| 4)                                                             | 5083858386883883631 |   |

|                                                               |              |   |
|---------------------------------------------------------------|--------------|---|
| I-Вн                                                          |              | 9 |
| В какой строчке<br>количество букв превышает количество цифр? |              |   |
| 1)                                                            | 8д2в9ы9иа3д5 |   |
| 2)                                                            | 383в9ы7ы892а |   |
| 3)                                                            | 6д2двфы856л7 |   |
| 4)                                                            | а4д52шк1пва3 |   |

|                                                      |                    |    |
|------------------------------------------------------|--------------------|----|
| I-Вн                                                 |                    | 10 |
| В какой строчке<br>чётных цифр меньше, чем нечётных? |                    |    |
| 1)                                                   | 147587786228563238 |    |
| 2)                                                   | 253478269234796826 |    |
| 3)                                                   | 873562827917539153 |    |
| 4)                                                   | 798647246192858425 |    |

|                                                                          |                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|
| I-Вн                                                                     |                            | 11 |
| В какой последовательности<br>одновременно присутствуют буквы «ж» и «к»? |                            |    |
| 1)                                                                       | 7р24ыхц7аа93ж33ры2рв284рфп |    |
| 2)                                                                       | оыр82рфлк783оыр38к83оы9лып |    |
| 3)                                                                       | 9лоыж372па43о3оыж3ыв3е33в1 |    |
| 4)                                                                       | 83пнц83пыж27а353в37фп3к131 |    |

|                                                                                |   |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| II-Ар                                                                          |   | 12 |
| Сколько целых чисел<br>расположено между числами $-\sqrt{92}$ и $-\sqrt{29}$ ? |   |    |
| 1)                                                                             | 3 |    |
| 2)                                                                             | 4 |    |
| 3)                                                                             | 1 |    |
| 4)                                                                             | 2 |    |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| II-Ар <div style="text-align: right;">13</div>                              |     |
| Найдите значение выражения<br>$5\sqrt{23} \cdot 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{46}.$ |     |
| 1)                                                                          | 340 |
| 2)                                                                          | 520 |
| 3)                                                                          | 460 |
| 4)                                                                          | 230 |

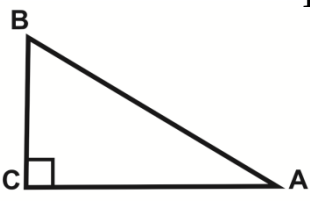
|                                                                                           |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| II-Ал <div style="text-align: right;">14</div>                                            |          |
| Найдите все значения $t$ , при которых уравнение<br>$5x^2 - 10x + t = 0$ не имеет корней. |          |
| 1)                                                                                        | $t > 5$  |
| 2)                                                                                        | $t < 20$ |
| 3)                                                                                        | $t > 0$  |
| 4)                                                                                        | $t > -5$ |

|                                                                        |          |
|------------------------------------------------------------------------|----------|
| II-Ал <div style="text-align: right;">15</div>                         |          |
| Решите уравнение<br>$\frac{5x^2 + (2 - 3x^2)(3x^2 + 2)}{9} = x - x^4.$ |          |
| 1)                                                                     | 2 и -0,8 |
| 2)                                                                     | -2 и 0,8 |
| 3)                                                                     | 1 и -0,8 |
| 4)                                                                     | 1 и 0,8  |

|                                                                                                  |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <div> <div>II-Ал</div> <div>16</div> </div>                                                      |                              |
| <div> <div>В каком случае</div> <div>выражение преобразовано в тождественно равное?</div> </div> |                              |
| 1)                                                                                               | $(x + y)^2 = x^2 + y^2$      |
| 2)                                                                                               | $(x + y)(y - x) = x^2 - y^2$ |
| 3)                                                                                               | $(x - 2)y = x - 2y$          |
| 4)                                                                                               | $(2 - x)^2 = 4 - 4x + x^2$   |

|                                                                                                                                                   |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <div> <div>II-Ал</div> <div>17</div> </div>                                                                                                       |                   |
| <div> <div>Решите систему уравнений</div> <div> <math display="block">\begin{cases} 3x + y = 3, \\ y - x^2 = -7. \end{cases}</math> </div> </div> |                   |
| 1)                                                                                                                                                | (7; 9), (19; -8)  |
| 2)                                                                                                                                                | (-5; 18), (2; -3) |
| 3)                                                                                                                                                | (-3; 12), (7; -2) |
| 4)                                                                                                                                                | (-5; 9), (4; 13)  |

|                                                                                                                                                                                  |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <div> <div>II-Ал</div> <div>18</div> </div>                                                                                                                                      |              |
| <div> <div>Какое из приведённых ниже неравенств является верным при любых значениях <math>a</math> и <math>b</math>, удовлетворяющих условию <math>a &gt; b</math>?</div> </div> |              |
| 1)                                                                                                                                                                               | $a - b > -2$ |
| 2)                                                                                                                                                                               | $a - b > 3$  |
| 3)                                                                                                                                                                               | $b - a < -1$ |
| 4)                                                                                                                                                                               | $b - a > 0$  |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II-Ге <div style="float: right;">19</div>                                           |    |
| В треугольнике $ABC$ угол $C$ прямой,<br>$AC = 8$ , $\cos A = 0,4$ . Найдите $AB$ . |    |
|  |    |
| 1)                                                                                  | 16 |
| 2)                                                                                  | 24 |
| 3)                                                                                  | 20 |
| 4)                                                                                  | 18 |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II-Ге <div style="float: right;">20</div>                                                                                                  |    |
| Один острый угол прямоугольного треугольника в $\frac{13}{5}$ раза больше другого. Найдите<br>больший острый угол. Ответ дайте в градусах. |    |
| 1)                                                                                                                                         | 65 |
| 2)                                                                                                                                         | 45 |
| 3)                                                                                                                                         | 75 |
| 4)                                                                                                                                         | 95 |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| II-Ге <div style="float: right;">21</div>                                                                   |     |
| Найдите площадь параллелограмма, если две его стороны<br>равны 9 и 14, а угол между ними равен $30^\circ$ . |     |
| 1)                                                                                                          | 48  |
| 2)                                                                                                          | 112 |
| 3)                                                                                                          | 63  |
| 4)                                                                                                          | 97  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <div> <div>II-Ар</div> <div>22</div> </div> <div> <p>Запишите в ответе номера тех выражений, значение которых равно 0.</p> <div> <div>1) <math>(-1)^5 + (-1)^2</math></div> <div>2) <math>(-1)^4 - (-1)^4</math></div> <div>3) <math>-1^2 + (-1)^2</math></div> <div>4) <math>-1^4 - (-1)^2</math></div> </div> </div> |         |
| 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1, 3, 4 |
| 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2, 3, 4 |
| 3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1, 2, 4 |
| 4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1, 2, 3 |

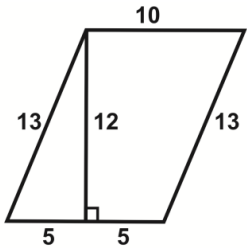
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <div> <div>II-Ар</div> <div>23</div> </div> <div> <p>Запишите в ответе номера выражений, значения которых положительны.</p> <div> <div>1) <math>\frac{2}{5} - \frac{3}{5}</math></div> <div>2) <math>-(-0,9) \cdot (-0,8)</math></div> <div>3) <math>\frac{-1,5-2,5}{1,5-2,5}</math></div> <div>4) <math>0,1^2 - 0,1</math></div> </div> </div> |      |
| 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1, 3 |
| 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3    |
| 3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4    |
| 4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2, 4 |

|                                                                                                                       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <div> <div>II-Ал</div> <div>24</div> </div> <div> <p>Решите неравенство <math>-7x - 10 \geq 5 + 3x</math>.</p> </div> |                   |
| 1)                                                                                                                    | $(-\infty; -1,5]$ |
| 2)                                                                                                                    | $(-\infty; -1,5)$ |
| 3)                                                                                                                    | $[-1,5; \infty)$  |
| 4)                                                                                                                    | $(-1,5; \infty)$  |

|                                                                                                                                                                                             |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <div> <div>II-Ал</div> <div>25</div> </div> <div> <div>Решите систему неравенств</div> <div> <math display="block">\begin{cases} 5x \geq -6, \\ 2x &lt; 3. \end{cases}</math> </div> </div> |             |
| 1)                                                                                                                                                                                          | (1,2; 1,5]  |
| 2)                                                                                                                                                                                          | [-1,2; 1,5) |
| 3)                                                                                                                                                                                          | (-1,2; 2)   |
| 4)                                                                                                                                                                                          | [-1,5; 1,2) |

|                                                                                                                                                                |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <div> <div>II-Ал</div> <div>26</div> </div> <div> <div>Упростите выражение</div> <div> <math display="block">(-7x + 2y)^2 - 14x(3x - 2y).</math> </div> </div> |               |
| 1)                                                                                                                                                             | $2x^2 + 3y^2$ |
| 2)                                                                                                                                                             | $5x^2 + 2y^2$ |
| 3)                                                                                                                                                             | $7x^2 + 4y^2$ |
| 4)                                                                                                                                                             | $8x^2 + 9y^2$ |

|                                                                                                                                                                                               |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <div> <div>II-Ге</div> <div>27</div> </div> <div> <div>Около трапеции описана окружность. Периметр трапеции равен 116, средняя линия равна 54. Найдите боковую сторону трапеции.</div> </div> |   |
| 1)                                                                                                                                                                                            | 4 |
| 2)                                                                                                                                                                                            | 6 |
| 3)                                                                                                                                                                                            | 3 |
| 4)                                                                                                                                                                                            | 8 |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| II-Ге <div style="float: right;">28</div>                                           |     |
| Найдите площадь параллелограмма,<br>изображённого на рисунке.                       |     |
|  |     |
| 1)                                                                                  | 60  |
| 2)                                                                                  | 130 |
| 3)                                                                                  | 120 |
| 4)                                                                                  | 65  |

|                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| III-Ар <div style="float: right;">29</div>                                  |      |
| Найдите сумму всех нечётных натуральных чисел<br>от 11 до 101 включительно. |      |
| 1)                                                                          | 2623 |
| 2)                                                                          | 2381 |
| 3)                                                                          | 2462 |
| 4)                                                                          | 2576 |

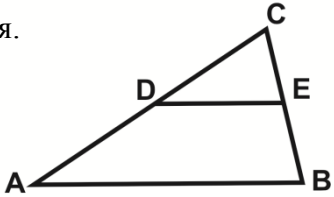
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| III-Ар <div style="float: right;">30</div>                                                                                                                                                                                                                                                               |          |
| Два экскаватора, работая одновременно, выполняют некоторый объём земляных работ за 3 ч 45 мин. Один экскаватор, работая отдельно, может выполнить этот объём работ на 4 ч быстрее, чем другой. Сколько времени требуется каждому экскаватору в отдельности для выполнения того же объёма земляных работ? |          |
| 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3 и 5 ч  |
| 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 7 и 8 ч  |
| 3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 6 и 10 ч |
| 4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 9 и 13 ч |

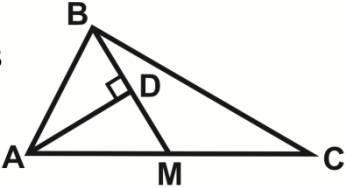
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| III-Ар                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   | 31 |
| <p>Больной принимает лекарство по следующей схеме: в первый день он принимает 5 капель, а в каждый следующий день – на 5 капель больше, чем в предыдущий. Приняв 40 капель, он 3 дня пьёт по 40 капель лекарства, а потом ежедневно уменьшает приём на 5 капель, доведя его до 5 капель. Сколько пузырьков лекарства нужно купить больному, если в каждом содержится 20 мл лекарства (что составляет 250 капель)?</p> |   |    |
| 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2 |    |
| 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3 |    |
| 3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1 |    |
| 4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 4 |    |

|                                                                                                  |                   |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|
| III-Ал                                                                                           |                   | 32 |
| <p>Найдите нули функции <math>y = \frac{(x^2+9)(x+5)}{x+3}</math><br/>(если они существуют).</p> |                   |    |
| 1)                                                                                               | -3; 3             |    |
| 2)                                                                                               | -5                |    |
| 3)                                                                                               | нет нулей функции |    |
| 4)                                                                                               | -3                |    |

|                                                                                      |     |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|
| III-Ал                                                                               |     | 33 |
| <p>Найдите наибольшее значение многочлена<br/><math>2m\sqrt{5} - m^2 - 2</math>.</p> |     |    |
| 1)                                                                                   | 3   |    |
| 2)                                                                                   | 0,8 |    |
| 3)                                                                                   | 7   |    |
| 4)                                                                                   | 2,4 |    |

|                                                                                                           |          |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----|
| III-Ал                                                                                                    |          | 34 |
| Найдите все значения $d$ , при которых уравнение $x^4 - 14x^2 + d^2 = 0$ имеет ровно два различных корня. |          |    |
| 1)                                                                                                        | -2; 4; 6 |    |
| 2)                                                                                                        | -6; 5    |    |
| 3)                                                                                                        | -3; 3; 9 |    |
| 4)                                                                                                        | -7; 7    |    |

|                                                                                                    |    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| III-Ге                                                                                             |    | 35 |
| Площадь треугольника $ABC$ равна 32. $DE$ – средняя линия.<br>Найдите площадь треугольника $CDE$ . |    |    |
|                 |    |    |
| 1)                                                                                                 | 13 |    |
| 2)                                                                                                 | 8  |    |
| 3)                                                                                                 | 12 |    |
| 4)                                                                                                 | 6  |    |

|                                                                                                                                      |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| III-Ге                                                                                                                               |    | 36 |
| Прямая $AD$ , перпендикулярная медиане $BM$ треугольника $ABC$ , делит её пополам. Найдите сторону $AC$ , если сторона $AB$ равна 4. |    |    |
|                                                 |    |    |
| 1)                                                                                                                                   | 5  |    |
| 2)                                                                                                                                   | 10 |    |
| 3)                                                                                                                                   | 8  |    |
| 4)                                                                                                                                   | 6  |    |

## Приложение 2. Список испытуемых, принимавших участие в исследовании

| №<br>п/п | Уникальный<br>код | Пол | Возраст<br>(полных лет) | Образование        | Участие в обоих<br>исследованиях |
|----------|-------------------|-----|-------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1        | 3                 | Ж   | 19                      | студент вуза       | нет                              |
| 2        | 6                 | Ж   | 21                      | студент вуза       | да                               |
| 3        | 22                | Ж   | 21                      | студент вуза       | да                               |
| 4        | 52                | Ж   | 22                      | высшее образование | да                               |
| 5        | 57                | Ж   | 21                      | студент вуза       | нет                              |
| 6        | 60                | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 7        | 74                | Ж   | 22                      | студент вуза       | да                               |
| 8        | 81                | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 9        | 88                | Ж   | 23                      | высшее образование | да                               |
| 10       | 99                | Ж   | 23                      | высшее образование | нет                              |
| 11       | 105               | Ж   | 22                      | высшее образование | нет                              |
| 12       | 111               | Ж   | 22                      | высшее образование | нет                              |
| 13       | 112               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 14       | 126               | Ж   | 24                      | высшее образование | да                               |
| 15       | 134               | Ж   | 22                      | высшее образование | нет                              |
| 16       | 157               | Ж   | 22                      | высшее образование | нет                              |
| 17       | 159               | Ж   | 22                      | студент вуза       | да                               |
| 18       | 166               | Ж   | 23                      | студент вуза       | нет                              |
| 19       | 182               | Ж   | 22                      | студент вуза       | да                               |
| 20       | 192               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 21       | 194               | Ж   | 23                      | высшее образование | да                               |
| 22       | 196               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 23       | 210               | Ж   | 25                      | высшее образование | да                               |
| 24       | 216               | Ж   | 23                      | высшее образование | нет                              |
| 25       | 220               | Ж   | 22                      | высшее образование | нет                              |
| 26       | 227               | Ж   | 17                      | студент вуза       | нет                              |
| 27       | 228               | М   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 28       | 229               | Ж   | 20                      | студент вуза       | да                               |
| 29       | 230               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 30       | 231               | М   | 16                      | студент вуза       | нет                              |
| 31       | 232               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 32       | 234               | Ж   | 17                      | студент вуза       | нет                              |
| 33       | 236               | Ж   | 17                      | студент вуза       | нет                              |
| 34       | 238               | Ж   | 17                      | студент вуза       | нет                              |
| 35       | 246               | Ж   | 17                      | студент вуза       | нет                              |
| 36       | 252               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 37       | 257               | Ж   | 16                      | школьник           | нет                              |
| 38       | 263               | Ж   | 16                      | школьник           | нет                              |
| 39       | 265               | Ж   | 16                      | школьник           | нет                              |
| 40       | 278               | Ж   | 16                      | школьник           | нет                              |
| 41       | 305               | Ж   | 19                      | студент вуза       | нет                              |
| 42       | 309               | Ж   | 21                      | студент вуза       | да                               |
| 43       | 332               | Ж   | 22                      | студент вуза       | да                               |
| 44       | 335               | Ж   | 17                      | студент вуза       | нет                              |
| 45       | 339               | Ж   | 19                      | студент вуза       | нет                              |
| 46       | 340               | Ж   | 21                      | студент вуза       | нет                              |

| №<br>п/п | Уникальный<br>код | Пол | Возраст<br>(полных лет) | Образование        | Участие в обоих<br>исследованиях |
|----------|-------------------|-----|-------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 47       | 342               | Ж   | 21                      | студент вуза       | нет                              |
| 48       | 343               | Ж   | 22                      | студент вуза       | нет                              |
| 49       | 346               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |
| 50       | 350               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 51       | 351               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 52       | 352               | Ж   | 22                      | высшее образование | нет                              |
| 53       | 362               | Ж   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 54       | 363               | Ж   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 55       | 364               | Ж   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 56       | 366               | Ж   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 57       | 367               | Ж   | 18                      | студент вуза       | нет                              |
| 58       | 368               | Ж   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 59       | 370               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 60       | 371               | М   | 17                      | школьник           | да                               |
| 61       | 372               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 62       | 373               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |
| 63       | 374               | Ж   | 24                      | высшее образование | да                               |
| 64       | 375               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |
| 65       | 376               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 66       | 377               | М   | 17                      | школьник           | да                               |
| 67       | 378               | Ж   | 23                      | высшее образование | да                               |
| 68       | 379               | Ж   | 20                      | студент вуза       | да                               |
| 69       | 380               | Ж   | 19                      | студент вуза       | да                               |
| 70       | 381               | М   | 17                      | школьник           | да                               |
| 71       | 382               | Ж   | 17                      | студент вуза       | да                               |
| 72       | 383               | Ж   | 17                      | школьник           | да                               |
| 73       | 384               | Ж   | 23                      | студент вуза       | да                               |
| 74       | 385               | М   | 16                      | студент колледжа   | да                               |
| 75       | 386               | Ж   | 17                      | школьник           | да                               |
| 76       | 387               | Ж   | 24                      | студент вуза       | да                               |
| 77       | 388               | Ж   | 17                      | студент колледжа   | да                               |
| 78       | 389               | М   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 79       | 390               | Ж   | 15                      | школьник           | да                               |
| 80       | 391               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 81       | 392               | М   | 17                      | школьник           | да                               |
| 82       | 393               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 83       | 394               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 84       | 395               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |
| 85       | 396               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 86       | 397               | М   | 17                      | школьник           | да                               |
| 87       | 398               | М   | 19                      | студент вуза       | да                               |
| 88       | 399               | Ж   | 16                      | студент колледжа   | да                               |
| 89       | 400               | Ж   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 90       | 401               | Ж   | 17                      | студент вуза       | да                               |
| 91       | 402               | Ж   | 18                      | полное среднее     | да                               |
| 92       | 403               | Ж   | 20                      | студент вуза       | да                               |
| 93       | 405               | Ж   | 25                      | высшее образование | да                               |
| 94       | 406               | Ж   | 17                      | студент колледжа   | нет                              |

| №<br>п/п | Уникальный<br>код | Пол | Возраст<br>(полных лет) | Образование        | Участие в обоих<br>исследованиях |
|----------|-------------------|-----|-------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 95       | 407               | Ж   | 15                      | школьник           | да                               |
| 96       | 408               | Ж   | 15                      | школьник           | да                               |
| 97       | 409               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 98       | 410               | Ж   | 15                      | школьник           | да                               |
| 99       | 411               | М   | 25                      | высшее образование | нет                              |
| 100      | 412               | М   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 101      | 413               | М   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 102      | 414               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |
| 103      | 415               | Ж   | 17                      | студент вуза       | да                               |
| 104      | 416               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 105      | 417               | Ж   | 22                      | студент вуза       | да                               |
| 106      | 418               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |
| 107      | 419               | М   | 15                      | школьник           | да                               |
| 108      | 420               | Ж   | 15                      | школьник           | да                               |
| 109      | 421               | М   | 15                      | школьник           | да                               |
| 110      | 422               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 111      | 423               | Ж   | 15                      | школьник           | да                               |
| 112      | 424               | Ж   | 22                      | студент вуза       | да                               |
| 113      | 425               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 114      | 426               | Ж   | 18                      | студент вуза       | да                               |
| 115      | 427               | М   | 16                      | школьник           | да                               |
| 116      | 428               | Ж   | 16                      | школьник           | нет                              |
| 117      | 429               | Ж   | 17                      | студент колледжа   | да                               |
| 118      | 430               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |
| 119      | 431               | Ж   | 15                      | школьник           | да                               |
| 120      | 432               | Ж   | 16                      | школьник           | да                               |

**Приложение 3. Схема методики диагностики эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок**

| № | Входная модальность          | Выходная модальность       | Стимул                                                                                                                                        | Варианты ответа | Верный ответ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | слуховая<br>речевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | •               |              | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>   | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • | 1 |
| • |                              | •                          | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | слуховая<br>речевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | •               | •            |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr></table>    | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | 2 |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               |              | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • |   | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | слуховая<br>речевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | •               | •            | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • | • | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | 3 |
| • | •                            | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • |   | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               | •            |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | зрительная<br>(Л)          | <table><tr><td>•</td><td></td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>   | •               |              |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>    | • |   |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | 1 |
| • |                              |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               |              | • | • |   | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          | •                                                                                                                                             |                 | •            | • |   | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | зрительная<br>(Л)          | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | •               | •            |   | • | • | • |   | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>  | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | 2 |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               | •            |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               | •            |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | зрительная<br>(Л)          | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | •               |              | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>    | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | 3 |
| • |                              | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          | •                                                                                                                                             |                 | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • |   | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | слуховая речевая<br>(П)    | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | •               | •            |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | • | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | 1 |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               |              | • |   | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               |              | • |   | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             | •               |              | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            | • |   | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8 | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | слуховая речевая<br>(П)    | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>  | •               |              | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>   | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | 2 |
| • |                              | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • |                              | •                          |                                                                                                                                               | •               | •            | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| • | •                            |                            | •                                                                                                                                             |                 | •            | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |











|    |                   |                              |                                                                                                                                               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|-------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 59 | зрительная<br>(Л) | слуховая<br>неречевая<br>(П) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table> | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | 2 |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • | • |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • |   | • | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • | • |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 60 | зрительная<br>(Л) | слуховая<br>неречевая<br>(П) | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>   | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • | 3 |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             | • |   | • | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            |                                                                                                                                               | • |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             | • |   | • | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 61 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(Л)   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr></table>  | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • | 1 |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 62 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(Л)   | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>  | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>    | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | 2 |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            |                                                                                                                                               | • | • |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 63 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(Л)   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table> | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>  | • | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • | 3 |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • | • | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • | • | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 64 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr></table>  | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>   | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | 1 |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             |   | • | • | • |   | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 65 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>     | • |   | • |   |   | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • | • | 2 |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            |                                                                                                                                               |   | • | • | • |   | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 66 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>неречевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>   | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>      | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • | 3 |
| •  |                   | •                            |                                                                                                                                               | • |   | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            | •                                                                                                                                             | • |   | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                   | •                            |                                                                                                                                               | • |   | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 67 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(П)   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr></table>   | • | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • |   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr></table>      | • | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • |   | 1 |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • |   | • |   | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • |   | • |   | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • |   | • |   | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 68 | зрительная<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(П)   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | 2 |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 |                              | •                                                                                                                                             | • |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                 | •                            |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |



|    |                            |                            |                                                                                                                                               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 79 | зрительная<br>(Л)          | зрительная<br>(П)          | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr></table>  | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr></table>    | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • |   | 1 |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 80 | зрительная<br>(Л)          | зрительная<br>(П)          | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr></table>  | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr></table>   | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • |   | 2 |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 81 | зрительная<br>(Л)          | зрительная<br>(П)          | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>   | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • | 3 |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 82 | зрительная<br>(П)          | зрительная<br>(Л)          | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr></table>   | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • |   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>    | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • | • | 1 |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 83 | зрительная<br>(П)          | зрительная<br>(Л)          | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>  | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr></table>   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • |   | • | 2 |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 84 | зрительная<br>(П)          | зрительная<br>(Л)          | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | 3 |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             | • |   | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • | • |   | • | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 85 | слуховая<br>речевая<br>(Л) | слуховая<br>речевая<br>(П) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • | • |   | • |   | • |   | • | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • | 1 |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 86 | слуховая<br>речевая<br>(Л) | слуховая<br>речевая<br>(П) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr></table>   | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • |   | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td></tr></table>  | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • |   | • | • | • |   | • | • | • |   | • |   | 2 |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 87 | слуховая<br>речевая<br>(Л) | слуховая<br>речевая<br>(П) | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • | • |   | • |   | • |   | • | • |   | • | • | • | • |   | • |   | • | • |   | • |   | • | • | • | 3 |
| •  |                            | •                          |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          | •                                                                                                                                             |   | • |   | • | • | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          |                                                                                                                                               | • |   | • | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  |                            | •                          |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 88 | слуховая<br>речевая<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>   | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • | • | • | • |   | • |   | • | • | • |   | • |   | • | • | • | • |   | • |   | • |   | • |   | • | • | 1 |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • |   | • |   | • | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • | • |   | • |   | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • |   | • |   | • |   | • | • |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

|    |                            |                            |                                                                                                                                               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
|----|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|--|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|--|---|---|---|
| 89 | слуховая<br>речевая<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | • | • |   | • | • |   | • |   | • |  | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table>  | • | • | • |  | • | • | • |   | • | • |   | • | • | • |  | • | • |   | • |  | • |  | • | • | • | • |   | • |   | • | • |  | • |  | • | • | 2 |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             | • |   | • |   | • |   | • | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • | • | • |   | • | • |   | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             | • |   | • |   | • |   | • | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
| •  | •                          |                            | •                                                                                                                                             |   | • | • |   | • |   | • | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
| 90 | слуховая<br>речевая<br>(П) | слуховая<br>речевая<br>(Л) | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • | • |   | • | • | • |   | • |  | • | • | <table><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td></td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr><tr><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td><td>•</td><td></td><td>•</td><td></td><td>•</td><td>•</td></tr></table> | • | • | • |  | • | • |   | • |   | • | • | • | • | • |  |   | • | • | • |  | • |  | • | • | • | • | • |   | • | • | • |  | • |  | • | • | 3 |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • | • | • |   | • |   | • | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • | • |   | • |   | • | • | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
| •  | •                          |                            |                                                                                                                                               | • | • | • |   | • |   | • | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |
| •  | •                          | •                          |                                                                                                                                               | • | • | • |   | • |   | • | • |   |  |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |   |   |   |

Список перешифровок (измеряемых переменных):

1. Слуховая неречевая (Л) → слуховая речевая (Л)
2. Слуховая неречевая (Л) → зрительная (Л)
3. Слуховая неречевая (Л) → слуховая речевая (П)
4. Слуховая неречевая (Л) → зрительная (П)
5. Слуховая неречевая (П) → слуховая речевая (Л)
6. Слуховая неречевая (П) → зрительная (Л)
7. Слуховая неречевая (П) → слуховая речевая (П)
8. Слуховая неречевая (П) → зрительная (П)
9. Слуховая речевая (Л) → слуховая неречевая (Л)
10. Слуховая речевая (Л) → зрительная (Л)
11. Слуховая речевая (Л) → слуховая неречевая (П)
12. Слуховая речевая (Л) → зрительная (П)
13. Слуховая речевая (П) → слуховая неречевая (Л)
14. Слуховая речевая (П) → зрительная (Л)
15. Слуховая речевая (П) → слуховая неречевая (П)
16. Слуховая речевая (П) → зрительная (П)
17. Зрительная (Л) → слуховая речевая (Л)
18. Зрительная (Л) → слуховая неречевая (Л)
19. Зрительная (Л) → слуховая речевая (П)
20. Зрительная (Л) → слуховая неречевая (П)
21. Зрительная (П) → слуховая речевая (Л)
22. Зрительная (П) → слуховая неречевая (Л)
23. Зрительная (П) → слуховая речевая (П)
24. Зрительная (П) → слуховая неречевая (П)
25. Слуховая неречевая (Л) → Слуховая неречевая (П)
26. Слуховая неречевая (П) → Слуховая неречевая (Л)
27. Зрительная (Л) → Зрительная (П)
28. Зрительная (П) → Зрительная (Л)
29. Слуховая речевая (Л) → Слуховая речевая (П)
30. Слуховая речевая (П) → Слуховая речевая (Л)

Фактический порядок предъявления заданий отличается от представленного выше, т.к. три задания каждого типа (соответствующие каждой из переменных) распределены между началом, серединой и концом методики для нивелирования эффекта вработывания / утомления: 1, 90, 4, 32, 39, 54, 67, 75, 80, 82, 85, 72, 64, 60, 14, 19, 27, 7, 12, 17, 22, 30, 35, 40, 44, 51, 46, 56, 63, 76, 3, 9, 25, 87, 77, 43, 20, 2, 49, 73, 86, 37, 68, 89, 5, 15, 45, 55, 79, 57, 47, 26, 6, 58, 69, 74, 88, 8, 23, 65, 83, 10, 29, 34, 48, 59, 61, 70, 81, 84, 11, 13, 16, 28, 41, 50, 62, 78, 71, 18, 52, 66, 21, 31, 38, 53, 36, 42, 24, 33.