

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ФАКУЛЬТЕТ ПСИХОЛОГИИ

На правах рукописи

Дренёва Анна Александровна

**ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ
ВАРИАЦИИ ЭКСТРАФОВЕАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР**

19.00.01 – Общая психология, психология личности, история психологии

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата психологических наук

Научный руководитель:
доктор философских наук,
Кричевец А. Н.

Москва – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ЭКСТРАФОВЕАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ.....	14
1.1. Метод записи движений глаз	14
1.2. Анатомическое строение сетчатки: фовеа и экстрафовеа	16
1.3. Зрительное внимание	19
1.3.1. Исследование зрительного внимания: историческая перспектива	20
1.3.2. Проблема внимания в современной психологии	28
1.3.3. Восходящие и нисходящие процессы	29
1.3.4. Задачи для изучения внимания, задача зрительного поиска	30
1.3.5. Внимание при последовательном и параллельном поиске	32
1.3.6. Нейроанатомические механизмы внимания	39
1.3.7. Явное и скрытое внимание	42
1.3.7.1. Явное внимание.....	44
1.3.7.2. Скрытое внимание	46
1.3.7.3. Эндогенная и экзогенная системы скрытого внимания	47
1.3.7.4. Влияние скрытого внимания на пространственное разрешение.....	49
1.4. Экстрафовеальный анализ зрительного поля	50
1.5. Взаимодействие внимания и движений глаз	52
1.5.1. Последовательности саккад	55
1.5.2. Момент смещения внимания на точку приземления саккады.....	56
1.5.3. Премоторная теория внимания.....	57
1.6. Факторы, влияющие на время подготовки саккадических движений глаз	58
1.6.1. Парадигма исчезающего стимула	61
1.6.2. Парадигма дистрактора	62
1.6.3. Антисаккадная парадигма.....	62
1.6.4. Модель соревнования между саккадами	63
1.6.5. Детерминанты распределения времени подготовки саккад	64

1.7. Особенности зрительного восприятия экспертов в различных областях деятельности	68
1.7.1. Экспертиза в области шахматной игры	69
1.7.2. Общие характеристики восприятия экспертов	73
1.8. Концепции понятий в западной психологии	75
1.8.1. Классическая концепция понятий	75
1.8.2. Теория прототипов	77
1.8.3. Теория экземпляров	78
1.8.4. Теория, основанная на знании (knowledge-based theory)	81
1.8.5. Теория метафоры	83
1.8.6. Теория перцептивных символьных систем	85
1.9. Концепции понятий в отечественной психологии	86
1.9.1. Проблема понятия в работах Л.С. Выготского	86
1.9.2. Проблема понятия в работах А.Н. Леонтьева	89
1.9.3. Проблема понятия в работах С.Л. Рубинштейна	90
1.9.4. Проблема понятия в работах П.Я. Гальперина	92
1.9.5. Проблема понятия в работах В.В. Давыдова	92
1.10. Современные концепции математических понятий.....	94
1.10.1. Когнитивно-лингвистический подход воплощенного познания.....	95
1.10.2. Теория APOS (act-process-object-schema)	95
1.10.3. Концепция множественных репрезентаций	97
1.11. Категориальный зрительный поиск	101
Выводы по Главе 1	103
ГЛАВА 2. ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСТРАФОВЕАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР	104
2.1. Исследование 1. Особенности экстрафовеального анализа простых геометрических форм	106
2.2. Исследование 2. Возможности экстрафовеального распознавания планиметрических фигур	112

2.3. Исследование 3. Особенности экстрафовеального распознавания трехмерных фигур (пирамид и призм).....	125
2.4. Исследование 4. Специфика экстрафовеального анализа на материале трехмерных фигур (пирамид) в условии совпадения типов целевой фигуры и дистракторов.....	142
2.5. Исследование 5. Сравнение эффективности экстрафовеального анализа на материале трехмерных фигур у математиков («экспертов») и психологов («новичков»).....	161
ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ СЕРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	177
ВЫВОДЫ	183
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	184
ЛИТЕРАТУРА.....	186

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В данном исследовании рассматривается ряд актуальных вопросов современной когнитивной психологии.

Первый включает в себя особенности выполнения субъектами задачи на категориальный зрительный поиск в условиях различного типа стимулов и инструкций (Treisman, 1982; Wolfe, Cave, Franzel, 1989; Duncan, Humphreys, 1989; Yang, Zelinsky, 2009; Zelinsky et al., 2013; Kristjansson, 2015; Krause et al., 2017; Wolfe, Horowitz, 2017 и др.). В рамках исследований зрительного поиска изучается также вопрос соотношения фовеального и экстрафовеального (находящегося за пределами зоны фовеа) компонентов восприятия, вклада и функционального назначения каждого из них в процессах распознавания, анализа, категоризации и оперирования воспринимаемыми объектами (Reingold, Glaholt, 2014; Eckstein, Lago, Abbey, 2017; Rosenholtz, 2016). Несмотря на сниженную остроту зрения (Levi, Klein, Aitsebaomo, 1985; Harvey, Dumoulin, 2011), трудности различения близко расположенных стимулов и выделения их конкретных деталей (Vouma, 1970; Polat, Sagi, 1993; Greenwood et al., 2017), экстрафовеальное зрение играет значительную роль в процессе зрительного восприятия, позволяя распознавать объекты без направления на них взгляда; при этом эффективность экстрафовеального восприятия связывается с количеством саккад: чем меньше осуществляется саккад по направлению к стимулам, тем выше эффективность экстрафовеального зрения (Henderson, Pollatsek, Rayner, 1989; Ji, Chen, Fu, 2014; Дренёва, Кричевец, 2021б; Dreneva et al., 2021). В настоящей работе экстрафовеальное восприятие (или экстрафовеальный анализ) понимается как распознавание объектов и их характеристик без перемещения их в зону фовеа.

Второй вопрос связан с работой внимания в контексте зрительного поиска, в частности особенностей его функционирования на разных этапах решения поисковой задачи, при анализе разного типа объектов и в разных экспериментальных условиях. Результаты изучения механизмов внимания представлены в большом количестве работ (напр., Treisman, Gelade, 1980; Wolfe, 1994; Eimer, 2014; Nako, Grubert, Eimer, 2016; Фаликман, 2016). Многие

исследователи рассматривают внимание как систему механизмов с ограниченной ресурсоемкостью, способную значительно увеличить эффективность решения задачи, на которую оно направлено, и затем переключиться на следующую задачу (Treisman, Gelade, 1980; Hoffman, Subramaniam, 1995; Moray, 2017). Результаты работ в данной области позволяют заключить, что при решении задачи на зрительный поиск базовыми низкоуровневыми признаками, считываемыми без привлечения внимания, являются размер, цвет, пространственная ориентация и движение (Wolfe, Horowitz, 2004, 2017). Ряд исследований показывает, что более высокоуровневые характеристики, например, направление падающего света, также могут быть восприняты экстрафовеально и до привлечения внимания (Ramachandran, 1988; Enns, Rensink, 1990; Wang, Cavanagh, Green, 1994).

Третьим вопросом, находящимся в фокусе данного исследования, является многозначность термина «понятие» в психологии, который рассматривался с позиций множества принципиально разных подходов, таких как классическая теория понятий (Apostle, 1980); модель прототипов (Rosch, 1975; Rosch, Mervis, 1975); теория экземпляров (Medin, Shaffer, 1978); теория, основанная на знании (Murphy, Medin, 1985); теория метафоры (Johnson, Lakoff, 1980); воплощенное познание (Lakoff, Nunez, 1998); подходы, разработанные в рамках отечественной психологии (Выготский, 1934; Леонтьев, 1964, 1975; Рубинштейн, 1958, 2003; Давыдов, 2000). В работе уделяется внимание этому термину, поскольку в качестве стимульного материала использовались геометрические фигуры, репрезентирующие математические понятия. В связи с этим можно говорить о том, что изучались не только низкоуровневые перцептивные механизмы, задействованные при решении задачи на зрительный поиск, но также высокоуровневые процессы, обеспечивающие выполнение категоризации.

Исследование посвящено изучению процессов, включающих механизмы восприятия (фовеального и экстрафовеального), мышления (процесса категоризации) и внимания (способного перемещаться открыто, явно – в виде движений глаз; и скрыто – в виде не фиксируемых объективно перемещений фокуса внимания, обеспечивающего, тем не менее, повышенную эффективность

решения задач). Указанные функциональные системы и лежащие в их основе механизмы включают в себя как низкоуровневые, так и высокоуровневые процессы, сложным образом взаимодействующие между собой. Особенности интеграции механизмов обоих типов могут быть по-разному представлены у конкретных индивидов, что говорит о выраженных межиндивидуальных различиях во взаимодействии указанных систем. Кроме того, в рамках научения специфика их совместного функционирования, проявляющаяся в поведении, может существенным образом изменяться в соответствии с индивидуальными стратегиями субъектов, их личностными особенностями и требованиями задачи. В ситуации наличия значительного опыта в конкретной сфере индивид (эксперт) демонстрирует качественно иные паттерны взаимодействия внимания, экстрафовеального анализа и глазодвигательной активности в рамках решения профессиональных задач, что свидетельствует о переходе высокоуровневых процессов на более низкие уровни, позволяющем обеспечить быстрое и эффективное выполнение релевантных задач.

Цель исследования. Выявление психологических и психофизиологических особенностей экстрафовеального восприятия изображений при категориальном зрительном поиске, когда цель задается математическим понятием.

Объект исследования. Фовеальное и экстрафовеальное восприятие категориально заданных (понятием) геометрических фигур.

Предмет исследования. Общие закономерности и индивидуальные вариации экстрафовеального восприятия в условиях категориального зрительного поиска.

Гипотезы исследования

1. В условии простых геометрических форм, легко отличимых друг от друга (квадрат, круг, треугольник, крест), у всех испытуемых будет наблюдаться малое количество саккадических движений глаз в направлении целевого стимула либо их отсутствие, что отражает высокую степень эффективности экстрафовеального анализа.

2. В условии более сложных, двумерных геометрических фигур (прямоугольник, ромб, параллелограмм, четырехугольник общего вида), а также простых трехмерных фигур (призма), будет наблюдаться меньшее количество саккад до зоны с целевым стимулом, чем при случайном последовательном рассматривании всех представленных стимулов, что отражает достаточно высокую степень эффективности экстрафовеального анализа.
3. В условии очень сложных трехмерных фигур (пирамид), у которых отсутствуют опорные визуальные признаки, данные экстрафовеального анализа начнут играть значительно меньшую роль или вовсе игнорироваться при программировании саккад.
4. В условии вынужденного экстрафовеального восприятия, заданного инструкцией, испытуемые будут демонстрировать уровень успешности распознавания стимулов, сходный с таковым в условиях свободного поиска аналогичных стимулов.
5. При выполнении задач всех уровней сложности у испытуемых будут наблюдаться существенные межиндивидуальные различия, выражаемые в разных стратегиях поиска и степени использования результатов экстрафовеального анализа для решения задач.

Задачи исследования

Теоретические:

1. Провести анализ исследований экстрафовеального восприятия и выделить основные его характеристики.
2. Проанализировать основные черты скрытого (covert) внимания в его взаимосвязи с движениями глаз.
3. Систематизировать подходы к изучению понятий, выделить ключевые подходы в контексте изучения математических понятий.

Методические:

1. Разработать программу эмпирического изучения экстрафовеального анализа стимулов в условии категориального зрительного поиска.

2. Создать методический инструментарий для исследования экстрафовеального анализа в условиях категориального зрительного поиска.

3. Подобрать методику статистической оценки общих тенденций и индивидуальных вариаций экстрафовеального анализа стимулов.

Эмпирические:

1. Изучить наличие, распространенность и основные характеристики экстрафовеального анализа стимулов в условиях категориального поиска геометрических фигур разной степени сложности.

2. Исследовать межиндивидуальные различия в степени использования экстрафовеального анализа, а также в перцептивных стратегиях в зависимости от стимулов и инструкции.

3. Изучить роль скрытого внимания в условиях форсированного, вынужденного экстрафовеального анализа и сравнить эффективность и степень его применения при свободной инструкции (без запрета на движения глаз) и при ограничивающей инструкции (с запретом на движения глаз).

Теоретико-методологическая основа работы включает в себя основные положения системного подхода в психологии (Б.Ф. Ломов, В.Б. Швырков); принципы деятельностного подхода к изучению перцептивных процессов (А.Н. Леонтьев); теорию функциональных систем (П.К. Анохин); концепцию уровневой природы восприятия как процесса решения сенсорных и перцептивных задач (А.Н. Леонтьев, Ю.Б. Гиппенрейтер, В.Я. Романов).

Методы исследования включают в себя айтрекинг в качестве способа фиксации глазодвигательной активности испытуемого в процессе решения поисковой задачи. Во всех экспериментах использовался айтрекер SMI RED с частотой регистрации положения взгляда 120 Hz. Запись движений глаз проводилась с использованием программы iViewX. Эксперименты состояли из определенного количества проб (от 96 до 160 в зависимости от эксперимента), каждая из которых содержала слайды с четырьмя геометрическими фигурами – одной целевой и тремя дистракторами. Стимульный материал предъявлялся в программе Experiment Center 3.3. Экран монитора имел следующие

характеристики: разрешение 1024x1280, диагональ 19 дюймов. Испытуемые располагались на расстоянии 60 см от экрана монитора. В начале эксперимента проводилась двенадцатиточечная калибровка. Критерием допуска к эксперименту выступило достижение калибровочной точности не более 0.5° .

Обработка данных включала в себя перевод последовательности привязанных к экрану координат точек фиксации взгляда, полученных из программы SMI RED, в последовательности саккад в пределах выделенных зон со стимулами, что отражает специфику экстрафовеального анализа зрительного поля. Для этого с помощью программы Vegaze 3.3 экран делился на зоны интереса, включающие каждый из четырех стимулов, а также центральную зону. Данная программа фиксировала последовательность фиксации в каждой из зон, при этом все фиксации в рамках одной зоны считались за одну. Затем осуществлялся перевод полученных данных в последовательность посещенных зон с помощью специально написанной программы на языке Python. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета SPSS Statistics v. 21 методами описательной статистики, сравнения групп, процедур регрессионного и дисперсионного анализа.

Характеристика выборки. В первом эксперименте приняли участие 20 человек (12 женщин, 8 мужчин, возраст от 18 до 66 лет); во втором эксперименте участвовало 13 человек (9 женщин, 4 мужчин, возраст от 18 до 25 лет); в третьем эксперименте – 12 человек (8 женщин, 4 мужчин, возраст от 19 до 27 лет); в четвертом эксперименте – 18 человек (16 женщин, 2 мужчин, возраст от 18 до 25 лет); в пятом эксперименте участвовало 32 человека (23 женщины, 9 мужчин, возраст от 18 до 26 лет). Суммарный размер выборки составил 95 человек. Все испытуемые имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечена достаточным числом испытуемых и выполненными ими экспериментальными проб; использованием адекватного метода и оборудования, обладающего достаточными техническими характеристиками для фиксации требуемых процессов; экспериментальным дизайном, позволяющим четко варьировать уровни факторов

и отслеживать их влияние на зависимые переменные; использованием адекватной статистической обработки данных.

Научная новизна. В серии эмпирических исследований впервые изучено экстрафовеальное восприятие геометрических фигур в условии категориального поиска. Получены новые эмпирические данные о характеристиках экстрафовеального восприятия в зависимости от уровня сложности геометрических фигур. Проведен детальный анализ индивидуальных различий в применении экстрафовеального анализа при категориальном поиске. Применен статистический метакритерий оценки общих тенденций и индивидуальных вариаций экстрафовеального анализа стимулов. Изучена роль скрытого внимания при категориальном поиске в условии форсированного, вынужденного экстрафовеального восприятия.

Теоретическая значимость. Анализ особенностей экстрафовеального восприятия в условиях категориального зрительного поиска дополняет современные модели восприятия, внимания и глазодвигательной активности, а также взаимодействия между указанными процессами. Изучение условий, при которых механизмы, изначально относимые к более высоким уровням (например, категориальный поиск и процесс категоризации), под влиянием определенных факторов «спускаются» на более низкие уровни, воздействуя тем самым на динамику и содержание иных процессов, запускаемых по результатам первичного анализа, позволяет углубить современные представления о восходящих и нисходящих процессах обработки информации, а также особенностях их взаимодействия. Проведенный анализ межиндивидуальных различий расширяет существующие представления об индивидуальных перцептивных стратегиях в зависимости от уровня сложности стимулов, соотношения характеристик цели и дистракторов, содержания инструкции. Изучение специфики скрытого внимания в условии форсированного, вынужденного экстрафовеального восприятия дополняет имеющиеся данные о роли и возможностях скрытого внимания в зрительном восприятии.

Практическая значимость. Выявление индивидуальных характерных черт взаимодействия процессов внимания, фовеального и экстрафовеального зрения, а также механизмов, обеспечивающих категориальный поиск, у каждого из испытуемых, позволит определить типы возможной интеграции указанных процессов. Их можно использовать в сфере образования при модернизации обучающих методик для повышения их эффективности и обеспечения большей индивидуализации образовательных траекторий. Обнаруженная специфика экстрафовеального восприятия может использоваться для создания диагностических инструментов и обучающих технологий в профессиях, требующих эффективного зрительного восприятия стимулов на периферии зрительного поля: например, в профессиях диспетчера, оператора, сотрудника службы безопасности, спортсмена. Выявленная зависимость эффективности экстрафовеального анализа от сложности стимулов может быть применена в различных областях, например, маркетинге, для создания или изменения логотипов с визуальными характеристиками, позволяющими быстро и эффективно их воспринимать и запоминать. Полученные знания могут быть применены в области информационных технологий для оптимизации эргономичности цифровых продуктов, таких как приложения, сайты и др.

Положения, выносимые на защиту

1. В простых задачах на категориальный зрительный поиск, когда категория целевого стимула определяется математическим понятием, в условиях отчетливо различающихся между собой объектов, их идентификация осуществляется в основном за счет экстрафовеального распознавания.
2. Уже на уровне относительно простых задач на зрительный поиск проявляются значительные межиндивидуальные различия в степени использования экстрафовеального анализа зрительного поля при решении задачи, в частности при программировании саккад.
3. При усложнении задачи на категориальный поиск межиндивидуальные различия приобретают качественный характер: при решении поисковой

задачи одни испытуемые постоянно используют стратегию экстрафовеального анализа, тогда как другие ее практически не используют.

4. Эффективность категориального поиска в условии вынужденного экстрафовеального восприятия, заданного инструкцией (в виде запрета на движения глаз по направлению к стимулам), не связана с эффективностью его спонтанного использования при свободной инструкции (в виде отсутствия такого запрета).

Апробация результатов исследования. Результаты серии исследований обсуждались на заседаниях кафедр общей психологии и методологии психологии факультета психологии МГУ имени М.В.Ломоносова, а также докладывались в рамках конференций: «Когнитивная наука в Москве: новые исследования» (Москва, 2017); «19-я Европейская конференция по движениям глаз» (Вупперталь, 2017); «Летняя когнитивная школа памяти Карла Дункера» (Солнечногорск, 2018); «VIII Международная конференция по когнитивной науке» (Светлогорск, 2018); «Технология и психология для математического образования» (Москва, 2019); «XVI Европейский психологический конгресс» (Москва, 2019); «20-я Европейская конференция по движениям глаз» (Аликанте, 2019); IX Международная конференция по когнитивной науке (Москва, 2020).

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ЭКСТРАФОВЕАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

1.1. Метод записи движений глаз

Айтрекинг (eye tracking) – это метод измерения и фиксации движений глаз. Получаемые данные можно визуализировать и обрабатывать с помощью статистических методов. Существуют различные типы движений глаз; их наиболее распространенная классификация представлена в таблице 1 (Holmqvist et al., 2011). Отмечаются также и иные типы глазодвигательной активности, такие как микросаккады, постсаккадические колебания и вестибуло-окулярный рефлекс, однако их изучение больше характерно для офтальмологии, чем для прикладных научных областей.

Наиболее часто используемым устройством для регистрации глазодвигательной активности является айтрекер. Современные айтрекеры позволяют записывать видео движений глаз относительно предъявляемых на экране стимулов (зафиксированные на мониторе айтрекеры) или относительно окружающей среды (мобильные айтрекеры). Последние являются более экологичными, однако обладают меньшей точностью и используются гораздо реже.

Таблица 1.

Типы движений глаз, их определения и примеры измеряемых параметров		
Тип движений глаз	Определение	Примеры измеряемых параметров
Фиксация	Теоретическое определение фиксации включает в себя время, в течение которого глаз воспринимает информацию. Согласно практическому	- длительность фиксации - количество фиксаций - разброс фиксаций в пределах экрана

	определению, это время, когда глаз почти не подвижен.	
Взгляд	Взгляд – это одно посещение релевантной части стимула («зоны интереса»). Взгляд может состоять из нескольких фиксаций.	- количество фиксаций - количество посещенных зон
Путь сканирования	Путь сканирования – это маршрут взгляда в пространстве за определенный временной промежуток.	- сходство путей сканирования - длина пути сканирования
Саккада	Саккады – это быстрые движения глаз между фиксациями, которые переводят фокус внимания в новое место. Во время осуществления саккады зрительная информация не воспринимается.	- амплитуда саккад - длительность саккад - время подготовки саккад - скорость саккад
Моргание	Моргание – это кратковременные периоды закрытия глаз.	- длительность моргания - количество морганий
Плавное прослеживание	Плавное прослеживание – это медленно движущаяся фиксация, позволяющая фиксировать зрительную информацию. Такое прослеживание возможно только по отношению движущимся объектам на видео или в реальном мире.	- длительность плавных прослеживаний - длина плавных прослеживаний
Расширение зрачка	Размер зрачка является индикатором активности вегетативной нервной системы. Он	- диаметр зрачка

подвержен влиянию когнитивной
нагрузки и эмоций.

Метод айтрекинга в настоящее время является достаточно распространенным, поскольку позволяет получить объективные данные в виде количества различных типов движений глаз, их пространственных характеристик, направленности, длительности и т.д. Данный метод используется в различных исследовательских областях: когнитивной науке (Cavanagh et al., 2014; Wang et al., 2014; Владимиров, Чистопольская, 2019; Меньшикова, Пичугина, 2020), клинической психологии (Duque, Vazquez, 2015; Pierce et al., 2016), спортивной психологии (Барабанщикова и др., 2019), маркетинге (dos Santos et al., 2015; Jankowski et al., 2016), медицине (Holzman, Proctor, Hughes, 1973; Sumadani et al., 2015), зоопсихологии (Kano, Call, 2014; Muhlenbeck et al., 2015) и многих других.

1.2. Анатомическое строение сетчатки: фовеа и экстрафовеа

В центре сетчатки глаза располагается область овальной формы, ответственная за цветовое зрение наибольшей остроты – желтое пятно (*macula lutea*). Оно расположено напротив зрачка, над местом входа зрительного нерва. Диаметр желтого пятна составляет порядка 5.5 мм и включает в себя такие области, как фовеола, фовеа, парафовеа и перифовеа (Рис. 1).

Фовеа – это часть глаза в пределах желтого пятна, характеризующаяся наибольшей остротой зрения. Фовеальная область является наиболее тонким местом сетчатки и представляет собой углубление на внутренней ретиальной поверхности шириной около 1.5 мм. Значительный уровень плотности колбочек наряду с отсутствием кровяных сосудов в зоне фовеа обеспечивает высокую остроту зрения в данной области (Provis et al., 2013). Фовеальная зона занимает менее одного процента сетчатки, фиксирует до 5 угловых градусов зрительного поля, активируя при этом более 50% зрительной коры (Krantz, 2012).

Центром фовеа является фовеола – область диаметром примерно 0.35 мм, в которой расположены исключительно колбочковые клетки (Gass, 1999; Kolb, Fernandez, Nelson, 2011). В центре фовеа колбочки более компактные, тонкие и

внешне похожие на палочки, по сравнению с колбочками, располагающимися в других областях сетчатки. Кроме того, они сгруппированы более плотно, в виде шестиугольной решетки.

Согласно современной классификации, соотношение фовеальной и *экстрафовеальной* (находящейся вне фовеа) областей зрения является следующим. Диаметр фовеа составляет примерно 1.5 мм, или 5 угловых градусов; внутри фовеа располагается фовеола, занимающая область около 0.35 мм, или 1.3 углового градуса. Зона фовеа окружена парафовеа – областью диаметром 2.5 мм и занимающей зону, удаленную от фовеа на 1-2°, а та, в свою очередь, – перифовеа, имеющей диаметр 5.5 мм и удаленную от центра фовеа на 4-10° (Iwasaki, Inomata, 1986) (Рис. 1). Все остальное зрительное поле, удаленное от центральной области более чем на 10°, является периферией (Poletti, Rucci, Carrasco, 2017). В рамках данной работы нас будет интересовать деление зон сетчатки и зрительного поля на фовеальную и экстрафовеальную области.

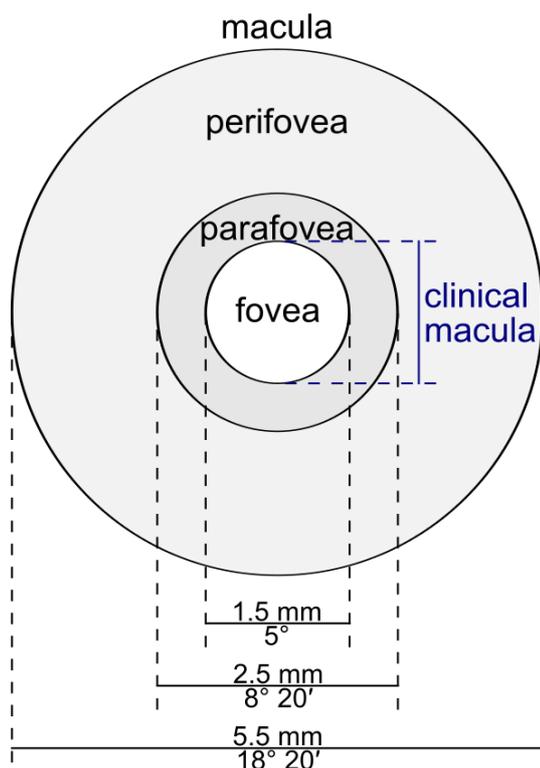


Рисунок 1. Схема отделов желтого пятна сетчатки

Несмотря на то, что именно фовеальная область обеспечивает наибольшую остроту зрения, много информации поступает также от периферии сетчатки. Это

означает, что возможно различать отдельные стимулы без непосредственного перевода их в фовеа (Posner, 1980). В случае, когда заданный стимул большой, одноцветный и простой, например, буква или геометрическая фигура, – такой объект может быть легко распознан «краем глаза». Если же целевой объект окружен несколькими отвлекающими объектами, например, другими буквами, различение цели затрудняется вплоть до полной неспособности распознать ее периферическим зрением (Levi, 2008). В такой ситуации требуется фиксация рядом с целью или непосредственно на ней, чтобы распознать ее и определить заданные характеристики (Henderson, Hollingworth, 1999).

Работы, исследующие соотношение ролей фовеального и периферического зрения, показывают, что опознание объектов редко обеспечивается одной лишь фовеа (напр., Loschky et al., 2007; Mace et al., 2009; Potter, Fox, 2009). Известным примером, иллюстрирующим ситуацию, в которой возможно совершать множественные фиксации и при этом ограничиваться одной лишь фовеальной областью, является наблюдение через небольшое движущееся отверстие или трубочку (Young, Hulleman, 2013). Другим примером является зрение больных глаукомой или пигментным ретинитом, которое существенно ухудшает способность передвигаться. Если предположить, что опознание объектов происходит преимущественно с помощью фовеа, пациенты с этими заболеваниями не испытывали бы настолько выраженные трудности. Для сравнения, пациенты с другим заболеванием, макулодистрофией, при которой страдает именно фовеальное зрение, выполняют стандартный двигательный тест так же хорошо, как здоровые люди (Popescu et al., 2011).

Существуют различные точки зрения на причины столь сильных различий между фовеальным и периферическим зрением. Наиболее распространенным объяснением снижения эффективности обработки стимулов на периферии, по сравнению с фовеа, является снижение четкости зрения, которое действительно наблюдается в связи с достаточно резким сокращением числа колбочек по направлению от центра к периферии. Данный эффект объясняется действием кортикального фактора магнификации (cortical magnification factor) (Rovamo, Virsu,

1979; Levi, Klein, Aitsebaomo, 1985). Функциональность фовеальных и периферических зон сетчатки обеспечивается разным количеством нейронов зрительной коры: за центральные области отвечают более обширные зоны коры, в сравнении с периферическими, то есть в поле V1 снижается представленность клеток сетчатки от центра к периферии (напр., Harvey, Dumoulin, 2011).

Однако ряд исследований показывает, что эта особенность имеет сравнительно небольшое влияние, по сравнению с эффектом чрезмерной концентрации (crowding effect). Данный эффект выражается в том, что распознавание целевого объекта затруднено по причине окружения его другими стимулами; при этом размер стимулов вполне достаточен для различения их в условии предъявления без окружающих дистракторов (Lettvin, 1976; Greenwood et al., 2017). Такой результат объясняется тем, что для успешного различения необходимо соблюдение определенного критического расстояния между целевым стимулом и дистракторами (Booma, 1970; Whitney, Levi, 2011).

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод о том, что экстрафовеальное зрение по физиологическим основаниям может обладать достаточно широкими возможностями, несмотря на очевидные ограничения.

Отдельно стоит рассмотреть еще один крайне важный процесс, имеющий значительное влияние на зрительное восприятие – внимание. В контексте данной работы внимание будет рассматриваться как система мозговых механизмов, позволяющая сконцентрировать ограниченные ресурсы на определенной задаче, повысив эффективность ее решения, после чего переключиться на следующую задачу.

1.3. Зрительное внимание

На протяжении последних 30 лет интерес к теме зрительного внимания в значительной мере вырос. Наиболее важными вопросами исследований являются следующие: каким образом зрительное внимание регулирует пространственную и временную чувствительность фильтров ранней селекции; как внимание влияет на выбор объектов зрительного поля; где и как управляются нейронные ответы; какие

нейронные механизмы лежат в основе селективного процесса; наконец, как взаимодействуют внимание и движения глаз (Carrasco, 2011).

Понимание указанных механизмов росло благодаря воздействию сразу нескольких факторов. Во-первых, психофизиологические исследования на людях позволили достаточно подробно описать конкретные системы внимания и их влияние на восприятие. Во-вторых, в ряде психофизиологических исследований на приматах была проведена точная оценка локальной мозговой активности, благодаря чему исследователи смогли выявить, как и на какой стадии обработки внимание регулирует нейронные ответы¹. В-третьих, исследования с использованием методов нейровизуализации позволили изучить мозговую активность в процессе выполнения различных задач. В-четвертых, развитие технологии айтрекинга в последние 25 лет привело к высококачественной визуализации и анализу движений глаз при решении задач на внимание и восприятие. Наконец, в-пятых, с помощью методов компьютерного моделирования была построена правдоподобная модель мозговых механизмов и сетей, обеспечивающих регуляцию восприятия процессами внимания.

1.3.1. Исследование зрительного внимания: историческая перспектива

Проблема внимания в психологической науке возникла во второй половине XIX века, в период классической психологии сознания. Авторами первых экспериментальных исследований внимания выступили В.Вундт, Э.Титченер и У. Джемс, каждый из которых предложил свою модель психических процессов, в том числе внимания; свое видение его структуры и механизмов действия.

По Вундту, внимание одновременно определяется и как активный процесс апперцепции, и как специфическое состояние сознания, при котором находящиеся в нем элементы воспринимаются ясно и отчетливо (Вундт, 1912). При этом попадание объектов в центральную зону сознания обеспечивается активным процессом, контролируемым самим индивидом и переживаемым им как осязаемое

¹ В исследованиях на приматах анализировались такие параметры, как направление взгляда, длительность фиксации, степень активации зон коры, ответственных за процессы управления взглядом, внимание и т.д. (напр., Anderson, Montant, Schmitt, 1996; Emery et al., 1997; Luck et al., 1997)

усилие, «чувство деятельности».

Э. Титченер в своих трудах вводил метафору волны внимания, выступающей в качестве сенсорной ясности содержаний сознания, находящихся на «гребне волны» (Титченер, 1912, 1914). Сама сенсорная ясность обеспечивается работой нервной системы, которая у человека имеет высокий уровень развития, позволяющий отбирать наиболее сильные или наиболее значимые стимулы. Изначально такой отбор субъективно воспринимается как определенное усилие, но затем выбранный элемент остается на волне внимания без дополнительной помощи.

У. Джемс полагал, что внимания как отдельного процесса не существует, а попадание объектов в зону внимания обеспечивается функционированием нервной системы одновременно по нескольким направлениям: приспособленность органов чувств для отчетливого и направленного восприятия, активация конкретных мозговых зон, ответственных за предвосхищение и удержание заданных стимулов и приток крови к соответствующему участку мозга (Джемс, 1890).

Кроме того, У. Джемс обозначил деление теорий внимания на «теории причины» и «теории эффекта» (Fernandez-Duque, Johnson, 2002). Первая группа теорий постулирует, что внимание является причиной изменений когнитивных процессов, таких как более высокая степень ясности воспринимаемых стимулов, легкость их обработки и запоминания. При этом в субъективном опыте индивида внимание ощущается как некоторое усилие, требуемое для достижения указанных эффектов. Во второй группе теорий внимание выступает в качестве эффекта, следствия работы физиологических механизмов, являющихся внешними по отношению к самому процессу внимания.

В гештальтпсихологии также наблюдалось разделение точек зрения по указанным группам. К примеру, Э. Рубин полагал, что понятие внимания излишне, так как является дополнительной, лишней сущностью, которая на самом деле проявляется в процессах мышления и восприятия. Схожей точки зрения придерживался К. Коффка: дискутируя с позицией Вундта о решающей роли активного процесса апперцепции, Коффка утверждал, что деление содержаний

сознания на фокус и периферию происходит без каких-либо внутренних усилий, за счет соответствующей организации поля восприятия (Фаликман, 2016).

Другие представители школы гештальтпсихологии высказывали противоположное мнение. Например, Келер и Адамс в своих исследованиях показали, что активность субъекта может направлять фокус внимания на те или иные объекты зрительного поля, в зависимости от задачи. Впоследствии Коффка предпринял попытку объединить противоречащие точки зрения, предложив определить внимание как «Эго-объектную силу», объединяющую субъекта и объекта восприятия. Эта сила может действовать либо в направлении от объекта к субъекту, – и тогда ясность восприятия отдельных элементов будет зависеть от структуры поля, – либо от субъекта к объекту, – и тогда поставленная задача будет определять организацию поля (там же). Такая постановка вопроса перекликается с проблемой восходящих и нисходящих процессов восприятия и внимания, которые будут рассмотрены далее.

В когнитивной психологии внимание представлялось через три основные метафоры (Fernandez-Duque, Johnson, 1999). Метафора фильтра предполагает невозможность охвата всего объема поступающей информации в силу ограниченности структурных ресурсов систем обработки. Эта ограниченность проявляется по причине наличия «бутылочного горлышка» в одном из звеньев системы переработки, на которое поступает больше информации, чем оно может пропустить. В связи с этим, системе необходим специальный фильтр, который способен ранжировать информацию по критерию приоритетности в данный момент, отсекая нерелевантные стимулы и пропуская релевантные.

Метафора резервуара ресурсов также используется для передачи свойства ограниченности хранилища информации и способов распределения ресурсов внимания. Внимание представляется в виде масштабной электросети, к которой подключается все больше новых приборов, из-за чего возникают затруднения при решении части задач – на них не хватает мощности.

Метафора прожектора включает в себе два ограничения: «емкостное», которое сравнивается с наибольшим диаметром световой окружности, и

«мощностное», выражающееся в степени освещенности зрительного поля. Кроме того, в этой метафоре, как и в предыдущих, автоматически принимается положение о том, что ресурсы мозга ограничены, что существует некоторое центральное хранилище, находящееся под угрозой переполнения (Найссер, 1981).

Однако наличие таких ограничений на данный момент не доказано. Существует множество эмпирических наблюдений, показывающих, что мозг способен выполнять множество различных задач параллельно: поддержание позы, автоматические и произвольные действия, прием и обработка информации ото всех анализаторных систем, построение речи и многое другое.

С другой стороны, в контексте проблемы внимания положение о широких возможностях мозга вступает в противоречие с эмпирическими данными, демонстрирующими феномен «психологического рефрактерного периода». Данный феномен проявляется в задержке при выполнении второй из двух последовательно предъявленных задач, несмотря на то, что обе они являются простейшими. Феномен наблюдается в том случае, когда интервал между задачами равен примерно 0.5 сек (Greenwald, 1972). Поскольку обе задачи крайне просты, явление задержки ответа кажется парадоксальным.

Такие наблюдения связаны с другим вопросом психологии внимания – проблемой последовательной и параллельной обработки информации (напр., Kahneman, Treisman, 1984). Если допустить существование «бутылочного горлышка», то до его достижения система будет обрабатывать информацию параллельно, а после – последовательно. На характер обработки может также влиять уровень сложности задач: чем они примитивнее, тем легче обрабатывать их одновременно, а сложные задачи изначально будут решаться строго последовательно, одна за другой.

В рамках ресурсных моделей внимания наиболее принципиальным является вопрос наличия оператора, который «переключает» каналы системы, меняет установки, регулирует уровень «освещенности» и т.д. Данная проблема получила название «проблема гомункулуса» – маленького человечка в мозге, выполняющего функции администратора и принимающего решения о наиболее актуальных

задачах. Если, однако, вводить для объяснения психических процессов эту условную сущность, мы как исследователи упрямся в бесконечность: в мозге гомункулуса должен быть еще один гомункулус, у того – еще один, и так далее. Соответственно, введение этого конструкта не решает проблему активности познания вообще и функционирования внимания в частности.

Проблема «изгнания гомункулуса» существует во многих областях когнитивной психологии (напр., Monsell, Driver, 2000; Logan, Bundesen, 2003; Verbuggen, McLaren, Chambers, 2014). Одним из вариантов ее решения является отказ от самой идеи существования центральной ресурсной системы и переход к положению о том, что когнитивные процессы регулируются тем, как сам индивид организует свою деятельность в соответствии с собственными целями и задачами.

В отечественной психологии для объяснения природы и механизмов внимания использовался деятельностный подход, постулировавший идею активности познающего субъекта (Фаликман, 2016). Деятельность понимается как активность человека, регулируемая и управляемая его мотивами, определяющими цели, которые, в свою очередь, достигаются посредством действий и операций. Произвольное внимание всегда определяется активностью субъекта, которая проявляется в выборе того, что в данной ситуации необходимо воспринять, запомнить или выполнить. Вклад познающего субъекта обнаруживается также и в актах произвольного внимания (Добрынин, 1938).

В контексте деятельностного подхода актуальным является вопрос о соотношения внимания и деятельности: является ли внимание самостоятельным видом деятельности или же лишь одной из ее сторон?

Данный вопрос поднимался в трудах Н.Ф. Добрынина (1938), рассматривавшего внимание как одно из возможных проявлений активности человека и определявшего его как «направленность и сосредоточенность психической деятельности» (Добрынин, 1951, с 294). В данной цитате направленность означает выбор определенной деятельности, а сосредоточенность – углубление и удержание ее в фокусе. По Добрынину, таким образом, внимание, проявляясь внутри деятельности, является ее частью.

Сходной позиции придерживался П.И. Зинченко, полагавший, что функцию внимания нельзя рассматривать в отрыве от самой деятельности, от ее содержания и от роли, которую оно в ней выполняет (Зинченко, 1966). Эта идея перекликается с точкой зрения А.Н. Леонтьева, писавшего о том, что проявления внимания могут быть проинтерпретированы при помощи анализа структуры и динамики деятельности, которые, в свою очередь, проявляются в продуктах и внешних показателях деятельности (Леонтьев, 2000).

Напротив, П.Я. Гальперин считал, что внимание является самостоятельной формой деятельности, «деятельностью психического контроля», имеющей в своей основе контрольную фазу любой деятельности (Гальперин, 1958). В деятельности внимания Гальперин выделяет особое содержание – «умственный контроль», которое позволяет в дальнейших экспериментальных исследованиях сформировать умственные действия внимания в рамках теории поэтапного планомерного формирования умственных действий (Гальперин, Кабыльницкая, 1972).

Внимание в контексте глагодвигательных задач подробно рассматривалось в работах Ю.Б. Гиппенрейтер, которая предложила анализировать феномены внимания одновременно в трех аспектах. Первый из них включает деятельность и ее уровневую структуру: мотив, цель, действие и операции. Второй аспект содержит сознание, в котором внимание задается в соответствии с субъективными критериями и эффектами: ясностью и отчетливостью, фокусом и периферией и т.д. Наконец, третий аспект включает в себе физиологические механизмы, структура которых согласуется, в частности, с уровневой концепцией построения движений Н.А. Бернштейна (Фаликман, Печенкова, 2016).

В рамках уровневой концепции любое движение может быть рассмотрено как процесс решения двигательной задачи в определенных условиях. Построение движений осуществляется на нескольких уровнях: от наиболее простого, базового – тонуса мышц, до наиболее сложного, уровня символических движений, присутствующего только у человека.

Применительно к проблеме решения глагодвигательных задач, актуальным для Ю.Б. Гиппенрейтер является положение теории Бернштейна о

дифференциации уровней. В большинстве движений одновременно функционируют сразу несколько уровней, однако среди них один является ведущим, непосредственно связанным с содержанием задачи, а остальные – фоновыми, обеспечивающими отдельные технические аспекты движения. У человека, осуществляющего в основном предметно-практические действия, ведущим уровнем чаще всего выступает уровень D – предметных действий. В качестве дополнения к модели Бернштейна, в которой рассматривались только двигательные задачи, Б.М. Величковский высказывает идею о том, что задачи могут быть чисто перцептивными (Величковский, 1999, 2006; Velichkovsky, 2002).

В рамках уровневой модели критично положение о направлении анализа: не снизу вверх, а сверху вниз – от задачи к физиологическим механизмам. В трехкомпонентной схеме Ю.Б. Гиппенрейтер делается акцент на связях между ними, а также на связи между деятельностью и обеспечивающими ее физиологическими механизмами. Итогом этого взаимодействия является формирование «функционально-физиологической системы деятельности», которая определяется структурой деятельности и текущей задачей. Психологический и физиологический компоненты системы представлены в сознании не полностью: в состав психологической составляющей входит образ будущего результата, а в состав физиологической – раздражители ведущего уровня деятельности. Следовательно, структура деятельности может быть впоследствии восстановлена на основе, во-первых, субъективного отчета индивида и, во-вторых, объективных физиологических показателей, фиксируемых с помощью аппаратных средств.

Для иллюстрации зависимости физиологических параметров выполнения деятельности от характеристик задачи, а также гибкости переключения между разными уровнями выполнения движений, можно привести результаты исследований произвольных микродвижений глаз. Эти эксперименты проводились Ю.Б. Гиппенрейтер и В.Я. Романовым в 70-х годах прошлого столетия (Гиппенрейтер, Романов, 1970; Романов, 1971) на материале зрительных задач с использованием неподвижных стимулов на движущемся фоне. При фиксации объектов в таких условиях наблюдается особый тип микродвижений –

фиксационный оптокинетический нистагм, в составе которого выделяют фазу плавного смещения по направлению движения фона и фазу скачка, при котором взгляд возвращается к фиксируемому объекту.

В исследованиях Романова и Гиппентейтер было показано, что параметры этого типа нистагма зависят от структуры выполняемой деятельности. В экспериментах использовалась одинаковая стимуляция, но варьировался тип задач: удерживать взгляд на неподвижной точке на движущемся фоне, отслеживать изменения цвета точки и давать моторный ответ на каждую смену, выявить закономерность в последовательной смене цвета фиксируемого стимула.

Можно увидеть, что первая задача предполагает фиксацию на точке как единственную и основную цель действия, а получение информации о ее характеристиках выступает в качестве средства достижения цели. Во второй задаче роли этих действий меняются местами: теперь уже целью становится определение цветовых параметров точки, а фиксация на ней является вспомогательным средством решения.

В зависимости от типа задачи меняется также характер физиологических параметров – микродвижений глаз. В задаче более высокого уровня произвольные скачки глаз случаются реже, а их амплитуда уменьшается. Кроме того, испытуемые в субъективных отчетах указывают, что степень внимания к фиксируемой точке была различной и менялась в соответствии с текущей задачей. К примеру, операция фиксации на объекте либо уходила на фоновый уровень в одном случае, либо становилась осознанным действием на ведущем уровне в другом.

Идея влияния текущей задачи на характеристики многоуровневой функциональной системы (Анохин, 1971) в контексте решения глазодвигательных задач была исследована ранее в работах А.Л. Ярбуса (1965), показавшего, что характер задачи определяет паттерны психофизиологических показателей движений глаз – саккад и фиксаций.

Если вернуться к проблеме рассмотрения внимания как отдельной деятельности или же как одной из ее сторон, свойств, Ю.Б. Гиппенрейтер пишет о

внимании как о «феноменальном и продуктивном проявлении работы ведущего уровня организации деятельности» (Гиппенрейтер, 1983, с. 172). Такое понимание процесса внимания подразумевает вхождение его в состав функционально-физиологической системы и проявление его в сознании и продуктах деятельности. По Гиппенрейтер, внимания как отдельной деятельности не существует, оно обнаруживает себя исключительно в рамках целенаправленных действий в качестве свойства функционально-физиологической системы деятельности.

Данная позиция впоследствии развивалась в работах Ю.Б. Дормашева, который представил внимание как исполнительный акт с возможным наличием моторного механизма. Этот акт рассматривался на каждом из уровней анализа деятельности в зависимости от места акта в ее структуре: уровнях операции, действия или деятельности.

1.3.2. Проблема внимания в современной психологии

В современной психологии выделяется три основных типа зрительного внимания (Carrasco, 2011). Первый – это пространственное внимание, которое может быть как явным, когда наблюдатель направляет взгляд на объект и фокус его внимания совпадает с точкой фиксации взора, так и внутренним, скрытым, при котором внимание направлено на релевантную область без соответствующих движений глаз. Второй тип – это внимание на основе отдельных признаков (*feature-based attention*), которое может скрыто фиксировать отличительные черты объектов (цвет, ориентация, направление движения), независимо от их расположения. Третий тип – это объектно-ориентированное внимание (*object-based attention*), регулируемое структурой объектов.

Популярные модели зрительного поиска фокусируются на потенциальной разнице между обработкой характеристик, на которые направлено внимание, и тех, на которые оно не направлено. Это заложено не только в теории интеграции признаков (Treisman, Gelade, 1980) и теории управляемого поиска (Wolfe, 1994), но подразумевается также во многих других теориях (напр., Itti, Koch, Niebur, 1998; Rosenholtz, 1999; Torralba et al., 2006).

Однако некоторые исследователи привели результаты, не согласующиеся с гипотезой о том, что эффективность поиска определяется участием зрительного внимания (напр., Carrasco et al., 1995; Vlaskamp, Over, Hooge, 2005) или предложили иные объяснения (напр., Geisler, Chou, 1995; Eckstein, 1998; Palmer, Verghese, Pavel, 2000; Gheri, Morgan, Solomon, 2007; Rosenholtz, Huang, Ehinger, 2012).

Во многих моделях внимания предполагается, что зрительная обработка движется от нижеуровневых процессов к механизмам более высокого уровня. Обработка при этом происходит параллельно по всему зрительному полю, но до определенного предела: ограничения по мощности препятствуют осуществлению высокоуровневого анализа одновременно во всех зрительных областях. На какой-то стадии внимание «выбирает» лишь одну зону для дальнейшей более тщательной обработки.

1.3.3. Восходящие и нисходящие процессы

Многочисленные исследования показывают, что существует две линии переработки зрительной информации. Первая из них, восходящая, определяется характеристиками воспринимаемых объектов, воздействующими на сенсорные входы. К таким характеристикам относятся цвет объектов, форма, соотношение одних стимулов с другими, их внезапное появление или исчезновение и т.д. Вторая – нисходящая – линия переработки управляется субъективным опытом субъекта, его целями в конкретной ситуации восприятия и поставленной задачей. В этом случае можно говорить о влиянии таких параметров, как знание контекста зрительной задачи, возможности прогнозировать появление и изменение стимулов, используемых стратегий поиска. Одним из свидетельств участия нисходящих процессов в зрительном распознавании стимулов является эффект превосходства слова, который изучался во многих работах (Reicher, 1969; Wheeler, 1970; Falikman, 2011). Данный эффект заключается в том, что буква определяется в разы эффективнее, если является частью слова, по сравнению с рандомной буквенной последовательностью (Cattell, 1886). Мгновенное, преаттентивное схватывание семантики объекта, в составе которого находится заданный стимул, безусловно,

указывает на влияние высокоуровневых процессов мышления на самых ранних этапах зрительной обработки.

В когнитивной психологии восприятия продолжается дискуссия о механизмах работы перцептивных процессов восходящего и нисходящего типов (напр., Vecera, Behrmann, 2001; Hochstein, Ahissar, 2002; Connor, Egeth, Yantis, 2004; Фаликман, 2016). Кроме того, ставятся вопросы о том, насколько вообще уместно подобное разделение в контексте исследований зрительного восприятия и внимания (напр., Awh, Belopolsky, Theeuwes, 2012). Ряд авторов при этом ставит под сомнение работу внимания как отдельной сущности, которая скорее мешает, чем помогает в анализе восходящих и нисходящих процессов в зрительной системе (Firestone, Scholl, 2016). У исследователей в данной области обнаруживаются расхождения даже в определении того, является ли наблюдаемый процесс восходящим или нисходящим (Rauss, Pourtois, 2013).

Несмотря на неоднозначность и противоречия в трактовке наблюдаемых феноменов, большинство авторов поддерживает идею разделения источников восприятия перцептивной ситуации на субъективные (нисходящие) и объективные (восходящие).

1.3.4. Задачи для изучения внимания, задача зрительного поиска

В современной когнитивной психологии внимание понимается достаточно широко и, как правило, сводится к двум функциям – селекции и удержанию релевантных объектов. В экспериментальных исследованиях внимания используются задачи, направленные на ту или иную из указанных функций внимания. Так, для изучения функции отбора применяются методика пространственной подсказки, обработка потенциально конфликтных стимулов, слежение за несколькими стимулами и задачи на зрительный поиск. На вторую функцию – сосредоточения – направлены такие методики, как задача на бдительность и устойчивость, например, непрерывное выполнение заданных действий или воздержание от нерелевантной реакции, а также задача на распределение внимания на несколько задач одновременно.

Одной из наиболее часто используемых задач на внимание является задача на зрительный поиск, которая заключается в том, чтобы как можно быстрее или точнее найти целевой стимул среди дистракторов. Отвлекающие стимулы при этом могут иметь ту или иную степень схожести с целью. В зрительной модальности, в отличие от, например, слуховой или тактильной, эффективность обнаружения релевантного стимула зависит от достаточно большого количества факторов. В качестве источников влияния на успешность выполнения поисковой задачи могут выступать количество дистракторов, их размер, степень схожести с целью, пространственное расположение, контрастность, угол наклона и мн. др. (Wolfe, Horowitz, 2004, 2017; Rosenholtz et al., 2012; Rosenholtz, 2014).

В данной категории методик на внимание можно выделить три основных типа задач на зрительный поиск. Первый из них – это задачи обнаружения, в которых требуется дать отчет о наличии или отсутствии заданного объекта. Задачи обнаружения, в свою очередь, делятся еще на два класса: поиск одного или нескольких уникальных стимулов среди множества совершенно не похожих на цель дистракторов (*singleton search*) и поиск объекта, определяемого одним признаком (*feature search*) или сочетанием признаков (*conjunction search*).

Второй тип задач на зрительный поиск – это задача локализации, которая заключается в определении пространственного расположения целевого стимула. Данный тип задач, по сравнению с первым, обладает большей степенью экологичности, поскольку для успешного взаимодействия с требуемым объектом необходимо знать не только о его наличии, но также и о месте его нахождения.

Третий тип поисковых задач – это задачи на опознание, требующие дать отчет не только о наличии и местоположении целевого стимула, но и о его значении, содержании заложенной в нем информации. Такая задача, безусловно, соотносится с уникальной способностью человека оперировать и вербализовывать значения и смыслы объектов.

В качестве объектов используются самые разные виды стимулов: отдельные линии, геометрические фигуры, буквы, слова, реалистичные объекты и т.д. Анализ методов, применявшихся в психологии внимания в последние десятилетия,

показывает тенденцию в сторону большей экологичности предъявляемых стимулов. Так, если в 80-х годах прошлого века использовались по большей части простые стимулы в виде линий, форм, отдельных букв, то в современных исследованиях наблюдается переход к моделированию трехмерного пространства, предъявление реалистичных объектов и животных, естественные пейзажи и контексты и др.

1.3.5. Внимание при последовательном и параллельном поиске

Еще один аспект рассмотрения внимания соотносится с двумя механизмами поиска: последовательным и параллельным (Egeth, 1966). В случае последовательного поиска внимание может обрабатывать лишь один объект за единицу времени, что позволяет идентифицировать объекты как цель или как дистрактор в порядке очереди (Sternberg, 1966). Модели параллельной обработки предполагают, что большинство стимулов или даже вся их совокупность могут быть обработаны одновременно, в результате чего будет принято решение о наличии или отсутствии цели (Neisser, 1963).

Одной из наиболее известных концепций внимания является теория интеграции признаков (Feature Integration Theory) (Treisman, Gelade, 1980). Ее основной идеей является особая организация зрительного поиска: он начинается с параллельного анализа всех характеристик наблюдаемых объектов. Выделенные характеристики рассматриваются отдельно друг от друга, в результате чего формируются индивидуальные для каждой гипотетические карты активации, имеющие ретинотипическую организацию. Все данные с этих карт передаются на «главную карту местоположений», также имеющую пространственный тип организации. В случае активации единственного местоположения на одной из карт признаков происходит немедленное переключение внимания на соответствующий участок главной карты. Такой механизм объясняет феномен выскакивания объекта (pop-out effect), отличающегося от остальных лишь по одному признаку.

Если же целевой объект задается комбинацией двух или более признаков, необходима активация нескольких ретинотипических карт признаков (Рис. 2). В этом случае вниманию необходима последовательная обработка нескольких

объектов, обладающих обоими признаками. Поиск будет продолжаться до тех пор, пока цель не будет обнаружена либо пока не будут просмотрены все имеющиеся объекты. Логично, что время поиска будет положительно коррелировать с количеством объектов.

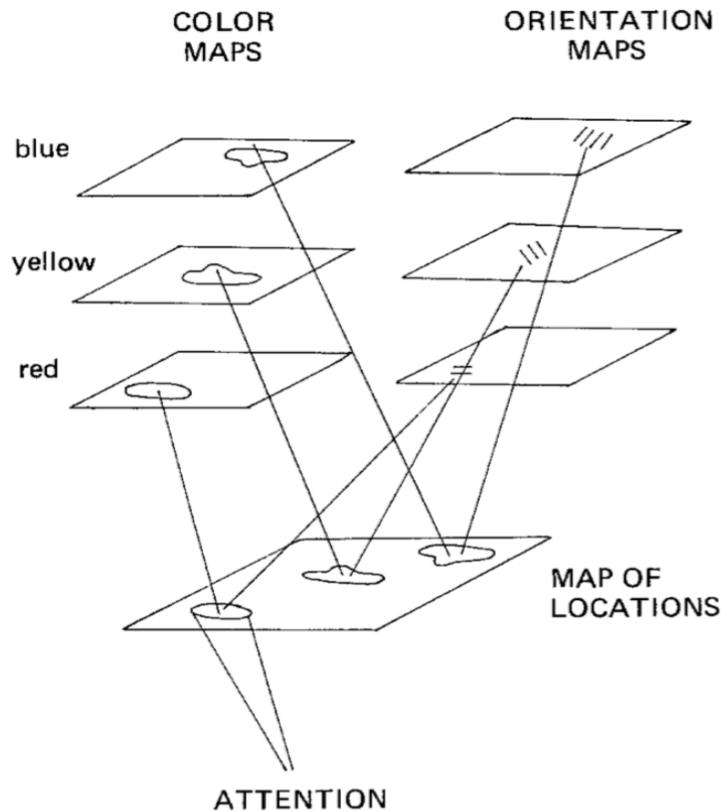


Рисунок 2. Общая схема, отражающая гипотетические карты признаков внутри и между измерениями главной карты местоположений, через которую внимание последовательно соединяет признаки отдельных объектов (рисунок из статьи Treisman, 1985)

Согласно данной концепции, для определения момента включения процесса внимания в зрительный поиск можно варьировать уровень его сложности. Если селекция вниманием включается поздно, после того, как все стимулы в поле были обработаны, поиск цели должен быть крайне простым, поскольку цель визуально отлична от дистракторов. Если же внимание подключается раньше, например, на этапе анализа формы и характера освещенности, тогда поиск затрудняется в случае наличия сходных 2D-черт у цели и дистракторов, но тогда, когда они имеют стереометрическую форму. По этой логике, селективное внимание начинает

функционировать после определения пространственной организации базовых характеристик стимулов.

Теория интеграции признаков была модифицирована в работах Дж. Вольфа, который представил собственную концепцию, получившую название «модель управляемого поиска» (Guided Search Model) (Wolfe, 1994; Wolfe, Gray, 2007). В ней также постулируется наличие начальной стадии параллельного анализа всех признаков объектов, которые отмечаются на отдельных «картах». Если целевой объект отличается от дистракторов лишь по одному признаку, он обнаруживается практически мгновенно, так же, как и в модели Трейсман. Однако во всех остальных случаях на процесс поиска будут оказывать влияние нисходящие процессы, выражаемые в контексте предъявления стимулов и в особенностях решаемой задачи. Важным отличием данной модели от теории интеграции признаков является то, что внимание последовательно анализирует не просто участки пространства, а «имплицитные объекты», характеризующиеся определенным набором признаков. Путь внимания по «карте внимания», или «главной карте», определяется имплицитными объектами с наибольшим уровнем активации, на который влияют как низкоуровневые характеристики самих стимулов, так и нисходящие процессы. Активация определенных мест на карте регулируется особенностями поставленной задачи. Если в исследовании используется поисковая задача на материале естественных сцен, субъекты используют знания о свойствах цели, характеристиках удаленности, глубины, а также о типичных местах ее расположения.

Большинство исследователей в области зрительного поиска соглашаются, что базовые низкоуровневые характеристики включают в себя пространственную ориентацию, цвет, размер и движение (Treisman, 1985; Wolfe, Horowitz, 2004). Однако существуют данные, что и высокоуровневые признаки могут также схватываться преаттентивно, то есть до момента включения внимания в процесс обработки зрительных стимулов. В контексте рассмотренных теорий интеграции признаков и управляемого поиска преаттентивные процессы рассматриваются в

качестве аналогичных параллельному анализу зрительного поля, то есть происходящих без участия направленного внимания (Treisman, 1985).

Стадии преаттентивных процессов предшествует период, в течение которого свет, попавший на сетчатку, преобразуется в ряд нейронных сигналов, который передается по зрительному нерву далее в головной мозг. Согласно доминирующей гипотезе, это являет собой начало функционирования так называемого раннего зрения (Marr, 1982), характеризующегося действием быстрых низкоуровневых механизмов. Эти механизмы позволяют идентифицировать такие примитивные характеристики, как цвет, движение, контрастность и пространственная ориентация.

На первом этапе раннего зрения происходит трансдукция, или рецепция света нейронами сетчатки. Затем осуществляется первичная обработка поля, при которой с помощью линейных или квазилинейных фильтров анализируются признаки объектов. После этого наступает этап вторичной обработки, на которой применяется более «продвинутое» нелинейные операции. Анализ на всех трех этапах обработки происходит быстро и параллельно по всему зрительному полю (Рис. 3) (Rensink, 2007).

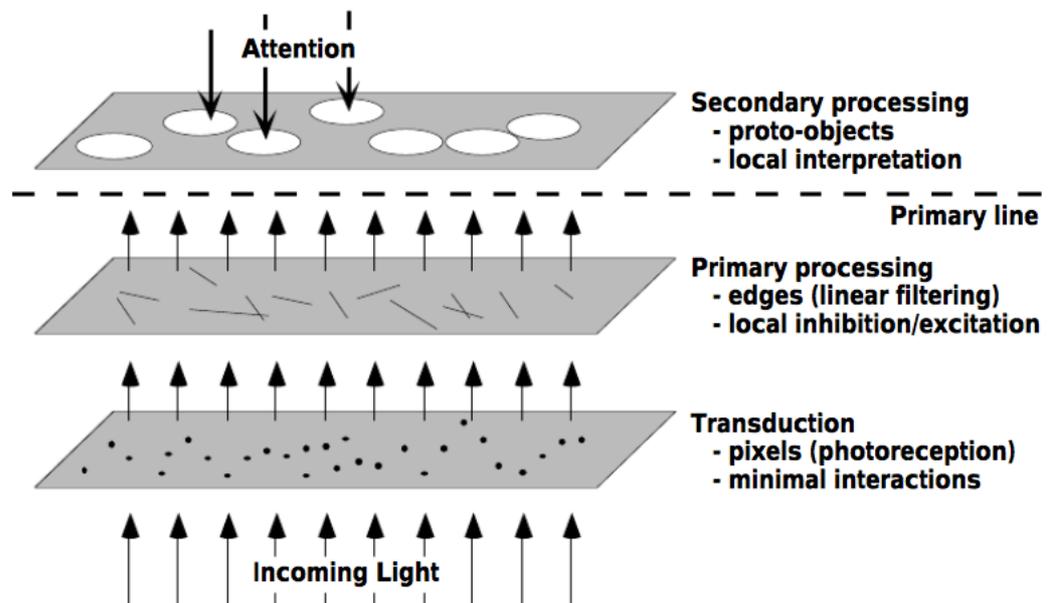


Рисунок 3. Схема процессов раннего зрения (рисунок из статьи Rensink, 2007)

Например, эксперимент Enns и Rensink (1990) показал, что поиск куба, освещенного сверху, среди кубов, освещенных снизу осуществлялся довольно долго (примерно 18 мс на каждый стимул в условии наличия цели). При противоположном условии неэкологичного освещения цели в окружении экологично освещенных дистракторов поиск осуществлялся гораздо быстрее (10 мс на каждый стимул). Это означает, что необычность освещения цели схватывается очень быстро, без участия внимания; притом непривычно освещенный целевой стимул среди привычно освещенных обнаруживается быстрее, чем при обратном условии.

Выводы данного эксперимента были затем подтверждены в более позднем исследовании Wang, Cavanagh, Green (1994), показавшем, что поиск происходит быстрее, если менее знакомая цель находится в окружении более привычных дистракторов, чем наоборот. Результаты этих двух исследований свидетельствуют о том, что такой высокоуровневый признак трехмерных объектов, как направление падающего на них света, может обрабатываться без перевода объекта в зону фовеа и без участия внимания. Более того, экологичность характера освещения также оказывает значительное влияние на скорость зрительной обработки.

Рассмотренные исследования поднимают еще один вопрос: с учетом скорости обработки является ли характер освещенности таким же низкоуровневым признаком, как ориентация или цвет? Попытка дать ответ на этот вопрос была сделана в исследовании Ostrovsky, Cavanagh и Sinha (2005), которые показали, что поиск определенного направления света оказывается весьма затруднительным в условии рандомной пространственной ориентации кубов или когда неверно освещенная цель находится внутри сложноорганизованной сцены. Аналогично Rensink и Cavanagh (2004) обнаружили, что поиск четырехугольников усложняется, если отличительная черта цели напоминает тень (Рис. 4).

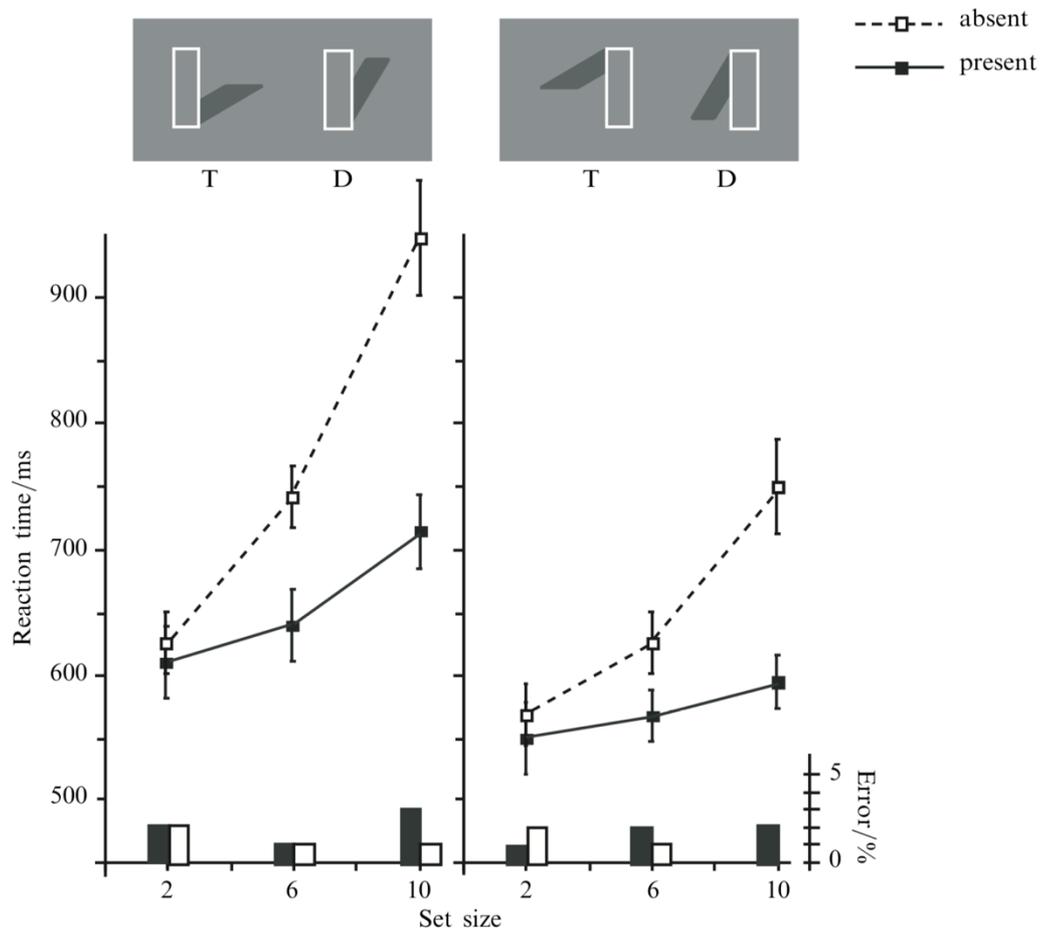


Figure 3. Results of condition 1A (the standard stimuli). Search for the unique orientation of the quadrilateral in the upright case is slower than in the inverted case. Error bars indicate standard errors of the mean. T = target; D = distractor.

Рисунок 4. Результаты эксперимента Rensink и Cavanagh (2004)

Возвращаясь к эксперименту Enns и Rensink (1990), отметим еще один аспект, важный для одного из наших исследований. Авторы провели также сравнение трехмерных фигур – кубов – с их двухмерными эквивалентами – тремя ромбами, соединенными углами и тремя шестиугольниками, соединенными двумя гранями (Рис. 5). Полученные результаты говорят о том, что, несмотря на внешнее сходство 2D- и 3D-фигур, трехмерные стимулы опознаются быстрее (8 мс на стимул, по сравнению с 19 и 20 мс на каждое из условий соответственно).

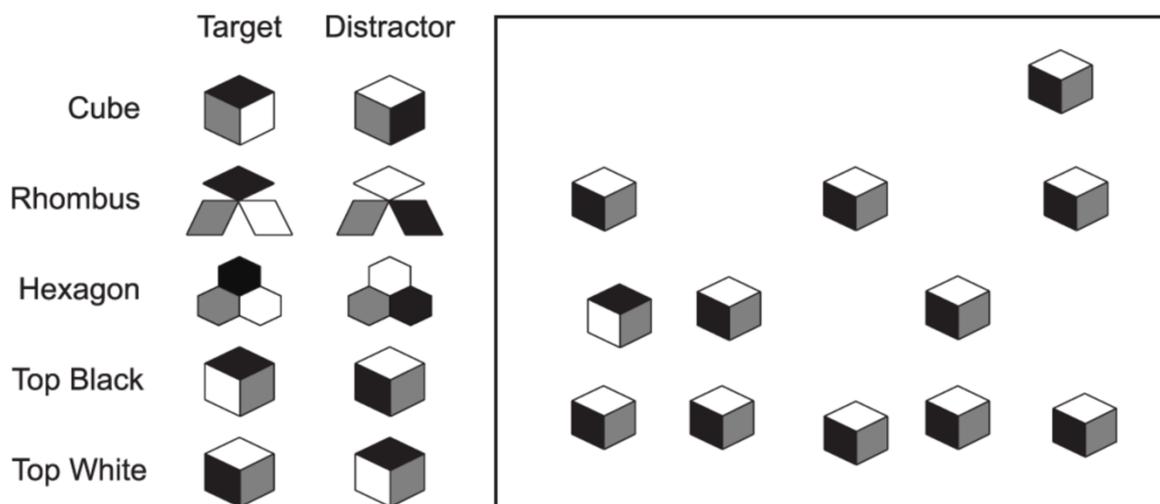


Рисунок 5. Образец стимулов в исследовании Enns, Rensink (1990)

Иными словами, даже изображения трехмерных объектов, во-первых, качественно отличаются от изображений, не образующих трехмерные формы, и, во-вторых, эти отличительные признаки схватываются крайне быстро, наравне с низкоуровневыми характеристиками.

В своем следующем исследовании Enns и Rensink (1991) на основе серии из семи экспериментов заключают, что трехмерность как свойство объекта может быть зафиксировано на уровне преаттентивных процессов. В качестве теоретического обоснования ими предлагается модель PRISM (Parallel and Rapid Inference of Scene Magnitudes), способная обеспечить параллельную и быструю интеграцию параметров сцены.

Отдельно авторами рассматривается вопрос о том, каким образом и по какой причине является возможным вычленение трехмерности, заданной на материале плоских, двумерных стимулов. Множество релевантных теорий исходит из предпосылки, что элементы воспринимаемых объектов являются трехмерными или объемными (напр., Biederman, 1985; Pentland, 1986). Этому может быть как минимум два объяснения: гипотеза эволюционно обусловленной важности быстрого восприятия трехмерных объектов (напр., Gibson, 1966; Ramachandran, 1988) и вычислительная гипотеза, обеспечивающая необходимый баланс в

дихотомии совсем примитивных признаков объектов и сложности описания полной естественной сцены (напр., Biederman, 1985; Pentland, 1986)

В этой же статье (Enns, Rensink, 1991) авторы делают важный вывод о том, что признаки, выхватываемые ранним зрением, должны очень быстро обрабатываться, поскольку процессы периода предвнимания не могут «позволить себе» тратить время на всеобъемлющий анализ всех элементов зрительного поля. Как в таком случае тратится время на эти «быстрые и черновые» процессы? Есть два варианта: либо эти процессы делятся столько времени, сколько необходимо для их эффективного завершения, либо им дается некоторое фиксированное количество время, за которое они должны сделать всё возможное. На основании полученных результатов, авторы статьи склоняются ко второму из перечисленных вариантов.

Таким образом, процессы раннего зрения способны фиксировать не только примитивные характеристики объектов, но также довольно сложные, такие как направление света или трехмерность. Приведенные данные свидетельствуют в пользу гипотезы параллельной обработки поля на ранних стадиях анализа зрительного поля. В условиях сочетания нескольких признаков, затрудненного поиска или других параметров для успешного решения задачи необходимо подключение процессов внимания.

1.3.6. Нейроанатомические механизмы внимания

Развитие компьютерных технологий позволяет проводить технически сложные исследования, которые помогают раскрывать механизмы когнитивных процессов и в частности внимания. Например, данные, полученные с помощью методов нейровизуализации, выявили три системы, ответственные за различные аспекты внимания: состояние готовности (alerting), ориентировка (orienting) и управляющий контроль (executive control) (Posner, Petersen, 1990). Готовность определяется как поддержание состояния высокой чувствительности к окружающим стимулам и обеспечивается работой фронтальных и париетальных областей правого полушария (Marrocco, Davidson, 1998). Ориентировка – это отбор информации, воспринимаемой органами чувств; она связана с активностью задних

мозговых зон, включая верхнюю париетальную лобную долю, височно-теменной стык и орбитофронтальную кору (Posner, 1980; Corbetta et al., 2000). Управляющий контроль позволяет решать конфликты между различными возможными реакциями; он регулируется передней поясной и латеральной префронтальной корой (Botvinic et al, 2001).

При операциональном рассмотрении внимание выполняет функцию организации множества мозговых центров для совместного выполнения текущей задачи (Shipp, 2004). Последние открытия в области нейроанатомии зрительного внимания позволяют предположить, что задний бугорок таламуса может действовать как удаленный управляющий центр координации пространственной активности внутри многочисленных кортикальных зрительных карт. Задний бугорок таламуса может, в свою очередь, управляться сигналами, идущими из фронтальных и париетальных глазных полей, использующих общий окуломоторный нервный путь, проходящий через важное звено – верхний холмик четверохолмия. В рамках модели внимания, основанной на так называемой сложной реальной нервной структуре (real neural architecture – RNA), становится возможным интегрировать несколько различных моделей процессов внимания в парадигмах зрительного поиска, таких как последовательная или параллельная обработка, управление «сверху вниз» или «снизу вверх», внимание или предвнимание.

Внимание часто сравнивают с прожектором, высвечивающим наиболее важные части зрительного поля. Однако какая материальная нейроструктура генерирует этот прожектор и управляет им? Предложение на роль этой структуры таламуса впервые было сделано Криком (Crick, 1984), а в дальнейших исследованиях были рассмотрены дополнительные вопросы, более полно раскрывающие анатомический базис мультифокусной контролирующей системы (Shipp, 2003, 2004).

В когнитивных терминах пространственное внимание обеспечивается bottom-up (BU) и top-down (TD) механизмами. В качестве источника процессов TD была выявлена фронто-париетальная кора, направляющая импульсы в окципито-

инферио-темпоральную область (известную также как передний зрительный путь) для опознания объекта. Была также обнаружена значительная область пересечения зон коры, ответственных за движения глаз (явное перенаправление внимания), с зонами, обеспечивающими скрытое внимание, когда фокус внимания способен перемещаться независимо от положения взгляда (Corbetta, Shulman, 2002).

В мозге приматов главными центрами, управляющими движениями глаз, являются фронтальное и париетальное глазные поля (FEF и PEF). Оба эти поля имеют прямой путь к верхнему холмику четверохолмия, а FEF также дополнительно имеет выход к стволовым окуломоторным центрам (Lynch, Tian, 2006; Gaymard et al., 2003).

В той мере, в какой зоны FEF и PEF являются обрабатывающими центрами для передачи сигналов управления взглядом, в той же мере эти зоны считаются наиболее вероятными источниками организации процессов внимания в самой коре (Moore et al., 2003). Эти зоны крайне взаимосвязаны, и каждая из них накапливает зрительные сигналы от множества источников, хотя и не непосредственно от зоны V1. Поскольку эти связи реципрокны, кортикальный фидбек от FEF и PEF определенно может влиять на процессы зрительного восприятия. Однако кортикальный фидбек функционирует как некая решетка, каскад – сеть со множеством источников и относительно диффузной локальной организацией. Субкортикальная цепь, наоборот, представляет собой интегрированный узел – удаленный центр контроля над воздействием на кортикальную сеть.

Предполагаемая субкортикальная цепь, контролирующая процессы внимания, включает в себя два центра: верхний холмик четверохолмия (SC) в среднем мозге и задний бугорок таламуса. Обе структуры связаны с управлением пространственным вниманием. Задний бугорок таламуса, в отличие от латерального коленчатого тела, получает основное количество данных не от сетчатки, а от зрительной коры. Поскольку итоговый результат его работы возвращается обратно в кору, задний бугорок являет собой звено удобного пути транскортикальной коммуникации (Guillery, 1995).

Таким образом, главным компонентом модели внимания, основанной на реальной нервной структуре, является задний бугорок таламуса, удобно расположенный для управления транскортикальной активностью, а также для участия в TD- и BU-контроле. Другими важными компонентами являются FEF, PEF и SC, активно участвующие не только в управлении взглядом, но и в обеспечении переключения между скрытым и явным вниманием. Поскольку задний бугорок таламуса совместно с FEF и верхним холмиком четверохолмия хорошо обеспечивают пространственную топографию, но крайне скудно – различение черт, система RNA наиболее вероятно контролирует именно пространственное внимание.

1.3.7. Явное и скрытое внимание

Еще одной дихотомией, существующей в рамках исследований внимания, является его деление на объективно наблюдаемое, явное (overt) и внутреннее, скрытое (covert). В рамках данной работы важно проанализировать оба типа внимания.

Первый тип – внешне наблюдаемое внимание, как следует из названия, репрезентируется вовне и может быть объективно зафиксирован в виде соответствующих движений глаз, переводящих объект интереса в зону фовеа. В контексте нашего исследования данный тип внимания будет анализироваться по результатам записи глазодвигательной активности испытуемого в процессе решения поисковой задачи и объективироваться в виде таких параметров, как количество фиксаций и саккад, их длительность и направленность.

Второй тип – внутреннее, скрытое внимание, отследить гораздо сложнее, поскольку оно функционирует практически без внешних проявлений, однако результатом его действия является повышение эффективности решения широкого круга задач. Этот тип внимания также крайне важен для нашей работы, поскольку одной из экспериментальных задач будет изучение степени успешности категориального поиска в условии запрета на использование явного внимания и, как следствие, опоры исключительно на скрытое. Кроме того, скрытое внимание в аспекте отсутствия движений глаз и направленности на конкретный объект

привносит дополнительный интерес при рассмотрении его влияния на процесс планирования саккад.

В большинстве естественных задач явный и скрытый типы внимания тесно взаимодействуют: это обусловлено работой одних и тех же корковых областей, задействованных как на клеточном, так и на системном уровнях (Corbetta, Shulman, 1998). Ключевое функциональное различие между ними заключается в том, что поступающая на сенсорный вход информация драматическим образом меняется с каждым переключением явного внимания. В связи с этим увеличивается важность обратной связи и постоянного обновления текущих данных системой явного внимания.

Такая тесная связь между двумя типами внимания означает, что модели явного внимания непременно должны включать в себя объяснение процессов скрытого. Вероятно даже, что механизмы явного внимания, то есть произвольные движения глаз, берут свое начало именно в скрытом внимании, поскольку фовеация, то есть перевод объекта в фовеальную область, не является универсальным механизмом у позвоночных. К примеру, лягушка, имеющая достаточно развитую окуломоторную систему, использует ее для рефлекторных, а не спонтанных, движений глаз и, следовательно, не имеет явного внимания (Lettvin et al., 1959). Тем не менее, у нее имеется внутреннее, скрытое внимание, фиксируемое экспериментально (Ingle, 1975).

Если предположить, что подобная ситуация сложилась в какой-то момент в эволюционной истории приматов, вполне вероятно, что мутация, давшая неравномерное строение сетчатки и ее регуляцию, закрепилась, поскольку, несмотря на очевидные преимущества скрытого внимания и рефлекторных движений глаз, острое зрение фовеа бесполезно, если ей нельзя произвольно управлять (Geisler, Cormack, 2011).

Интересной методологической проблемой является также различие скрытого внимания и уже упомянутых преаттентивных процессов, поскольку эмпирически их довольно сложно дифференцировать: оба типа процессов проходят без движений глаз, оба с очевидностью влияют на подготовку движений глаз и

управление явным вниманием. Одним из логичных предположений является то, что преаттентивные процессы можно рассматривать как вид специфической обработки зрительного поля, функционирующего до привлечения селективного внимания к конкретному объекту (Wolfe, 2018) и детектирующего нечто заметное еще до начала работы собственно внимания (Wolfe, Utochkin, 2019). Более того, в некоторых моделях преаттентивные и аттентивные типы поиска рассматриваются как один и тот же процесс, различающийся лишь по степени распределения внимания. К примеру, в модели Treisman и Gormican (1988) преаттентивный поиск определяется как «поиск, при котором внимание широко распределено по всему полю» (с. 43). После выбора объекта интереса селективное внимание может быть направлено к нему либо явно, открыто (посредством движений глаз), либо скрыто (без движений глаз) (Posner, 1980, 2016). Затем зрительное поле исследуется при участии всех типов внимания в соответствии с задачей.

Поскольку и преаттентивные процессы, и скрытое внимание работают незаметно для внешнего наблюдения, что крайне затрудняет их четкое различение, в рамках настоящей работы термин «экстрафовеальный анализ» объединяет оба типа скрытых процессов, предшествующих направлению явного внимания на объекты интереса.

1.3.7.1. Явное внимание

Функционирование явного внимания связывают с работой нейронных механизмов, обеспечивающих физическое движение сенсорных органов. В контексте зрительного восприятия это означает, что мозговые корреляты внимания способны динамически выбирать зоны интереса и контролировать направленность на них фовеальной зоны как обладающей наибольшей остротой. Очевидным преимуществом моделей явного внимания является возможность их объективной оценки с помощью фиксации области, на которую направлен сенсорный орган и которую, соответственно, субъект решил более тщательно исследовать.

Существует достаточно большое количество моделей внешне наблюдаемого внимания (Geisler, Cormack, 2011), однако многие из них могут быть отнесены к той или иной группе по нескольким критериям.

Одним из таких критериев является степень конкретизации задачи. Одни модели явного внимания относятся к ситуации задач с четко очерченными целями, например, поиск заданного стимула, другие – к задачам с неопределенными целями, такими как свободное разглядывание естественных сцен. Использование первого типа задач выгодно возможностью объективно вычислить, насколько успешно индивид выполняет задачу и, следовательно, оценить эффективность механизмов внимания. В задачах второго типа субъект может иметь одну или несколько частных целей, но не всегда ясных и доступных для изучения.

По другому критерию механизмы внимания могут быть разделены на оптимальные и субоптимальные. В ряде концепций моделируется внимание «идеального наблюдателя», способного максимально эффективно выполнять задачу. Такие концепции важны тем, что они выявляют мощностные требования задачи и задают уровень, с которым сравнивается реальное выполнение.

Модели явного внимания могут быть также разделены по критерию того, какие именно аспекты выполнения они предсказывают. Одни концепции направлены на предсказание исключительно моторных паттернов (например, движений глаз), другие – на оценку скорости выполнения, третьи – на точность и т.д. Некоторые модели пытаются предсказать все три аспекта (Geisler, Cormack, 2011).

Результаты многочисленных исследований функциональных и нейрофизиологических механизмов внимания обеспечили более высокий уровень понимания принципов его работы (более подробно мозговые области, связанные с процессом внимания, рассматривались в параграфе «1.3.6. Нейроанатомические механизмы внимания»). Успехи в изучении этого аспекта способствовали также появлению количественных моделей того, как внимание влияет на нейронную активность конкретных мозговых зон (Reynolds, Chelazzi, 2004), и количественных моделей переработки информации.

Для изучения механизмов явного внимания используются различные типы задач, среди которых наиболее распространенными являются чтение, свободное разглядывание, зрительно-моторные задачи и задачи на зрительный поиск.

1.3.7.2. Скрытое внимание

Несмотря на имеющиеся доказательства того, что скрытое внимание повышает успешность выполнения самых разных задач, природа механизмов внимания, стадии и уровни обработки зрительной информации все еще не ясны. Возможные объяснения включают предположения о том, что внимание усиливает сигнал, повышает чувствительность путем сокращения внешнего шума и является селективным процессом. Улучшение сенсорной чувствительности, сокращение шума и эффективный отбор не являются взаимоисключающими объяснениями, скорее, все они обеспечивают свой вклад в процесс, с помощью которого внимание улучшает деятельность (Pestilli, Carrasco, 2005).

Гипотеза улучшения сигнала заключается в том, что внимание прямым образом улучшает качество репрезентации стимула, усиливая его в локусе внимания (Bashinski, Bacharach, 1980; Cameron, Tai, Carrasco, 2002). Гипотеза сокращения внешнего шума имеет две отдельные составляющие: подавление шума и вытеснение дистракторов. Эти компоненты не являются взаимоисключающими, однако они предполагают действие различных механизмов.

Подавление шума связано с тем, что внимание способно снизить влияние внешнего шума, то есть изменить настройки перцептивных фильтров таким образом, чтобы увеличить удельный вес сигнала, по сравнению с шумом (напр., Doshier, Lu, 2000). В случае с вытеснением дистракторов внимание использует специальный фильтр, который подавляет действие систем, поставляющих нерелевантную информацию.

Важно отметить, что «подавление силы дистракторов» может принимать форму изменения критерия принятия решений. Объяснения, основанные на теории принятия решений, сводятся к тому, что отбор позволяет участникам «слушать» полезные фильтры и базировать свои решения только на них. В этом смысле вытеснение дистракторов может быть рассмотрено как механизм подавления внешнего шума, использующий образец принятия решения, сформированный с учетом целевых признаков.

Гипотеза, представляющая процесс внимания как механизм эффективного отбора, включает в себя селекцию релевантных задач стимулов и последующую более тщательную их обработку. Согласно данной гипотезе, отбор релевантной информации крайне необходим, поскольку нейронные ресурсы жестко ограничены (Carrasco, 2014). Это положение подтверждается множеством электрофизиологических, нейровизуализационных и бихевиоральных исследований (обзоры представлены в работах Desimone, Duncan, 1995; Reynolds, Chelazzi, 2004; Beck, Kastner, 2009). Например, было показано, что обработка парных стимулов, по сравнению с одиночными, требует больше ресурсов (Reynolds, Desimone, 1999). Тот же эффект был обнаружен для симультанно возникающих стимулов, по сравнению с последовательными: одновременно возникающие стимулы вызывали более слабые ответы (Beck, Kastner, 2007).

1.3.7.3. Эндогенная и экзогенная системы скрытого внимания

Пространственное скрытое внимание (spatial covert attention) имеет две системы, обеспечивающие отбор и обработку информации: эндогенную и экзогенную. Эндогенная система связана с произвольностью; экзогенная, напротив, отвечает за автоматическую реакцию на неожиданные стимулы. Эндогенную систему также называют длительно удерживаемым вниманием (sustained attention), а экзогенную – временным, преходящим вниманием (transient attention). Эти термины отражают временные характеристики каждого типа внимания: привлечение эндогенного внимания требует около 300 мс и оно способно удерживаться на объекте столько времени, сколько необходимо для решения задачи; в то время как непроизвольное внимание постоянно перескакивает с одного места на другое и может максимально фиксироваться в течение 100-120 мс (Hein, Rolke, Ulrich, 2006; Ling, Carrasco, 2006; Liu, Stevens, Carrasco, 2007).

Разные временные характеристики и степень произвольности этих двух систем указывают на то, что они используются индивидом в разных целях и в разных ситуациях: экзогенная система считается более филогенетически древней, позволяющей быстро и автоматически реагировать на ситуационно релевантные стимулы.

Несмотря на то, что переключение внимания, регулируемые эндогенной системой, находятся под контролем сознания и испытуемые способны направлять ресурсы на конкретные объект или место, им крайне сложно игнорировать периферические внезапно возникающие стимулы (напр., Giordano, McElree, Carrasco, 2009). Непроизвольные скачки внимания возникают даже в тех случаях, когда заранее известна нерелевантность новых стимулов (напр., Yeshurun, Rashal, 2010; Montagna, Pestilli, Carrasco, 2009) и когда реакция на эти стимулы снижает успешность выполнения основной задачи (Carrasco, Loula, Ho, 2006; Yeshurun, Montagna, Carrasco, 2008).

Эндогенное и экзогенное внимание имеют как общие перцептивные эффекты, так и индивидуальные. Например, в случае с периферическими (но не центральными) стимулами влияние процесса внимания более выражено для конъюнктивного поиска, по сравнению с дизъюнктивным, в задаче на поиск букв (дизъюнктивный поиск – *feature, or disjunctive, search* – условие, при котором цель отличается от дистрактора только по одному признаку, например, найти черный круг среди красных; конъюнктивный поиск – *conjunction search* – условие, при котором дистракторы могут различаться между собой и при этом отличаться от цели по одному признаку, например, найти красную букву X среди красных O и черных X (Briand, 1998).

Различия между этими видами внимания были показаны и по временному аспекту. К примеру, эндогенное привлечение внимания ухудшает определение временного порядка, а экзогенное – улучшает (Hein, Rolke, Ulrich, 2006).

В ряде исследований было обнаружено, что области затылочной, теменной и лобной коры сильнее активируются и при эндогенных, и при экзогенных переключениях внимания (Giesbrecht, Bischof, Kingstone, 2003; Liu, Larsson, Carrasco, 2007; обзоры представлены в работах Corbetta, Shulman, 2002; Beck, Kastner, 2009). В настоящее время нет единого мнения о том, лежит ли в основе двух типов внимания общий нейрофизиологический субстрат. В большинстве работ поддерживается точка зрения о том, что нейронные системы, обеспечивающие эти два процесса, частично пересекаются, но являются

независимыми. Некоторые исследования показали, что эндогенное внимание является корковым по своей природе, а экзогенное включает в себя также субкортикальные структуры (Zackon et al., 1999). Другие работы демонстрируют, что эндогенное внимание регулирует зрительные ответы в боковом колленчатом ядре, таламическом ретикулярном ядре (McAlonan, Cavanaugh, Wurtz, 2008), а также в верхнем холмике четверохолмия (Lovejoy, Krauzlis, 2010).

Еще одним различием между двумя системами является механизм обратной связи. В случае эндогенного внимания задействован отсроченный повторяющийся ответ от фронтальных и париетальных областей, тогда как при экзогенном внимании они активируются не всегда (напр., Bressler et al., 2008).

1.3.7.4. Влияние скрытого внимания на пространственное разрешение

Пространственная разрешающая способность – это способность четко различать определенные паттерны. Эта способность ухудшается по мере удаления стимулов от фовеальной области. Наиболее вероятным объяснением различий в пространственном разрешении по мере удаления от центра является то, что значительная доля корковых нейронов большинства зрительных областей задействована в обработке информации от центральной части зрительного поля, по сравнению с периферией. Так, в зоне V1 примерно 25% коры обеспечивает обработку стимуляции 2.5^0 зрительного угла (De Valois, De Valois, 1988).

Выполнение задачи на зрительный поиск ухудшается по мере удаления целевого стимула от центра (Carrasco, Chang, 1995), что объясняется худшей разрешающей способностью на периферии, так как успешность выполнения остается неизменной в случае пропорционального увеличения размера стимулов в соответствии с фактором магнификации, который уже был рассмотрен ранее (Carrasco, Frieder, 1999). Такая тенденция наблюдается при решении задач как на дизъюнктивный, так и конъюнктивный поиск (Carrasco, Yeshurun, 1998).

Однако существуют также качественные различия между нейронной обработкой центральных и периферических стимулов, поэтому нельзя утверждать, что кортикальный фактор магнификации способен устранить все различия (обзор представлен в работе Kitterle, 1986). Более того, пространственная разрешающая

способность не одинакова для равноудаленных стимулов: она лучше работает вдоль горизонтальной оси, чем вертикальной, и вдоль вертикальной оси лучше для нижних областей, чем для верхних (Montaser-Kouhsari, Carrasco, 2009).

Таким образом, периферическое, или экстрафовеальное, зрение скорее направляет внимание, чем заменяет его (Findlay, Gilchrist, 2003). Когда объект попадает на периферию сетчатки, мы более склонны перевести на него взгляд, чем продолжить рассматривать его экстрафовеально (Rayner, 1998). Следовательно, существует тесная взаимосвязь между фокусом взгляда и тем, что в данный момент обрабатывается мозгом, однако, как будет рассмотрено далее, эти взаимоотношения могут быть весьма гибкими (Just, Carpenter, 1980).

1.4. Экстрафовеальный анализ зрительного поля

В рамках данной работы экстрафовеальный анализ (экстрафовеальное восприятие) будет определяться как распознавание и анализ объектов и их отдельных характеристик без перевода объекта в фовеальную область сетчатки.

Имеющиеся в литературе данные позволяют говорить о том, что идентификация различного рода свойств объектов может осуществляться с помощью экстрафовеального восприятия (Дренёва, Кричевец, 2021б). Так, распознаваться могут отдельные объекты, их форма, цвет, особенности движения и др. (обзор Wolfe, Horowitz, 2004). Из этих данных справедливо следует тот факт, что перевод отдельных деталей в фовеа является избыточным. Тем не менее он происходит довольно часто. Учитывая то, что экономичность функций и процессов у живых организмов дает заметное эволюционное преимущество, возникают закономерные вопросы. Зачем человеку необходим фокус взгляда на интересующем объекте? Всегда ли совпадают фокус взгляда и фокус внимания?

В естественной ситуации восприятия нам довольно сложно обратить внимание на объект интереса, не переведя на него взгляд. Обычно это интерпретируется так, что перевод внимания в какое-то место включает в себя и подготовку движения глаз туда же. Взаимоотношения между вниманием и движениями глаз исследовались во многих работах (Godijn, Theeuwes, 2003; Rolfs,

2015; Sajar et al., 2016), и было показано, что перед тем, как осуществляется саккада в нужную зону, туда перемещается фокус внимания. Кроме того, движения глаз и процессы внимания контролируются по большей части одними и теми же мозговыми структурами (Corbetta, 1998; Nobre et al., 2000; Moore, Fallah, 2001).

Одни из первых количественных измерений экстрафовеального зрения были зафиксированы в первой половине 19-го века под авторством Нюеск, изучившего восприятие объектов, предъявляемых достаточно близко к фовеальной области; а также Aubert и Foerster (1857), в исследовании которых стимулы показывались уже достаточно далеко от фовеа – на расстоянии до 60° от точки фиксации. Результаты их работы выявили пропорциональность минимально различимого размера стимулов значению эксцентриситета – удаленности от фовеа. Авторами был также сделан вывод о принципиальном, качественном различии между фовеальным и экстрафовеальным зрением. Во второй половине 19-го века значительно улучшились методы измерения зрительного восприятия, в том числе периферического. В работе Wertheim (1894) проанализирована зависимость эффективности различения стимулов от их размера, а также приведен важный вывод о наличии межиндивидуальных различий в экстрафовеальном восприятии.

Известно, что мы можем направлять внимание на объекты, находящиеся вне фовеальной области сетчатки. Наш «внутренний взор» может перемещаться по окружающим объектам и без движений глаз. В 19-м веке Г. Гельмгольц систематически изучил такую направленность внимания. Он сконструировал ящик, где ряд букв очень короткое время подсвечивался с помощью искры, и обнаружил, что, если заранее выбрать какой-то участок и перенаправить на него внимание, то, когда весь ряд будет освещен, можно будет увидеть буквы на том участке без перевода на него взгляда. При этом буквы, находящиеся на равном удалении от центра взгляда, распознаны не будут, так же, как и те буквы, что находятся прямо в фовеальной области (Nakayama, Mackeben, 1989; Wright, Ward, 2008).

Это открытие Гельмгольца обычно объясняют селективным или фокусным вниманием (Neisser, 1967; Posner, 1980; Nakayama, Mackeben, 1989), а также разделением на внутреннюю, скрытую от наблюдателя направленность внимания,

когда мы не смотрим на объект интереса, и внешнюю, когда мы, например, поворачиваем к нему голову или переводим глаза. В контексте данной работы необходимо будет рассмотреть, как скрытое внимание взаимодействует с движениями глаз.

Изначально могут быть выдвинуты несколько логичных предположений о возможном взаимодействии зрительного внимания и движений глаз. Во-первых, они могут быть совершенно не зависимыми друг от друга. Во-вторых, внимание может просто следовать за направлением взора, хотя эксперимент Гельмгольца определенно показывает, что это не так. В-третьих, перемещение внимания может предшествовать движениям глаз и даже выступать для них необходимым условием. Наконец, в-четвертых, отношения между ними могут быть сложнее и определяться текущей задачей или ситуацией восприятия. Многочисленные исследования показывают, что с большой долей вероятности эти отношения являются сочетанием третьего и четвертого вариантов (Kristjansson, 2011).

1.5. Взаимодействие внимания и движений глаз

Хотя мы способны переводить внимание на объект, который не находится в фокусе нашего зрения, мы ощущаем, что для этого необходимо определенное усилие. Это позволяет предположить, что управление вниманием также частично включает и подготовку для перевода взгляда в нужную зону (Posner, 1980).

В начале 90-х годов прошлого века ряд ученых провели эксперименты с целью выяснить, является ли эта связка обязательной. Hoffman и Subramaniam (1995) просили своих испытуемых перевести взгляд в обозначенное место после звукового сигнала. Кроме того, участники должны были опознать букву, которая появлялась за 0, 50 или 100 мс до этого сигнала. Во всех временных условиях наилучшим образом целевая буква опознавалась в том случае, когда ее расположение совпадало с конечной точкой предстоящей саккады. Во втором эксперименте они попытались еще сильнее разделить внимание и саккады, дав инструкцию зафиксировать внимание в конкретной точке, а затем прося перевести взгляд либо в эту точку, либо в какую-то другую. Несмотря на это, опознание буквы

было лучше в той точке, куда пришла саккада, а не в той, где изначально находилось внимание. Эти результаты свидетельствуют о том, что связка внимания и саккад обязательна и испытуемым крайне сложно избежать перевода внимания в конечную точку саккады.

Deubel и Schneider (1996) просили своих испытуемых выполнять задачу различения обычной буквы «Е» и перевернутой, переводя при этом взгляд влево или вправо от точки фиксации в центре экрана (обращаем внимание, что целевой стимул исчезал, если попадал в фовеа). Авторы обнаружили, что выполнение различительной задачи улучшалось по мере сокращения расстояния между целью и конечной точкой задачи саккады. Они объяснили это тем, что, поскольку перевод внимания в место расположения цели повышает качество решения задачи, по сравнению с ситуацией, когда цель находится в точке, не охваченной вниманием (Posner, 1980; Kristjansson, Nikayama, 2003; Kristjansson, Sigurdardottir, 2008), внимание перемещалось в конечную точку саккады перед ее запуском, что и улучшало в итоге выполнение вторичной задачи. Так же, как и в эксперименте Hoffman и Subramaniam, было установлено, что даже когда испытуемые заранее знали место целевого стимула и пытались перевести внимание туда, они точнее решали задачу в случае совпадения мест цели и конечной точки саккады, по сравнению со случаем, когда цель была в фокусе внимания, а саккада приходила в другую точку.

Сходные выводы были получены и в другом эксперименте (Kowler et al., 1995): инструкция перевести взгляд в определенное место улучшала восприятие буквы в этом же месте. Кроме того, было показано, что крайне затруднительно или даже невозможно распознать букву в одном месте и одновременно готовить саккаду в другое.

В другом эксперименте, проведенном Shepherd с соавторами (1986), испытуемых просили распознать цель, кратковременно предъявляемую на периферии во время саккады вправо или влево (направление саккады задавалось индикатором в центре экрана). Цель и конечный пункт саккады либо находились в одном направлении, либо в противоположных. Испытуемые эффективнее

распознавали цель, если место ее расположения было близко месту прихода саккады, даже когда цель могла с гораздо большей вероятностью возникнуть в противоположной стороне. Авторы заключают, что испытуемые лучше распознают цель и когда они заранее знают, где она появится, и когда она пространственно совпадает с конечным пунктом саккады. Общий вывод их исследования заключается в том, что возможно перемещение внимания без соответствующих движения глаз, однако же невозможны движения глаз (в отсутствие периферической стимуляции) без соответствующего смещения внимания (с. 475).

Интересно также, что момент перемещения внимания субъективно воспринимается происходящим одновременно с перемещением взгляда. Например, в эксперименте Dreneva, Chernova, Ermolova, MacInnes (2021) одной из задач испытуемых было по сигналу перевести взгляд на циферблат часов с вращающейся стрелкой и затем сообщить ее положение. Было выявлено, что средняя величина ошибки была отрицательной и составила -38 мс от корректного времени, в сравнении с условием без перевода взгляда (+10.5 мс от корректного времени), что является свидетельством в пользу того, что внимание перемещается в точку приземления планируемой саккады до ее непосредственного осуществления.

В целом, результаты приведенных исследований о взаимоотношениях саккад и внимания говорят о том, что зрительное внимание с большой вероятностью перемещается в точку, которая в скором времени попадет в фовеальную область взгляда. Также эти эксперименты свидетельствуют в пользу премоторной концепции внимания, согласно которой перемещение внимания влечет за собой намерение перевести взгляд в эту точку.

В данном контексте стоит особо отметить исследование Peterson с коллегами (2004). Их эксперимент выглядел следующим образом. Испытуемые фиксировались на центральном объекте, окруженном шестью белыми кругами, каждый из которых содержал маски из цифр. Затем пять из этих кругов становились красными, и маски сменялись буквами. Задачей испытуемых было как можно быстрее посмотреть на оставшийся белый круг и распознать внутри него букву. Одновременно с этим на экране появлялся седьмой круг, но он был красным и

поэтому был абсолютном нерелевантным задаче. Однако в нем, как и в целевом круге, была либо обычная, либо отзеркаленная буква «С». Несмотря на явное противоречие инструкции, испытуемые часто переводили взгляд именно на этот седьмой круг. Ученые обнаружили, что, когда это неожиданное появление стимула провоцировало на него саккаду, наблюдался эффект состязательности, при котором распознавание этого стимула смешивалось с задачей распознавания буквы в том случае, когда предполагаемый ответ не соответствовал правильному. Этот результат позволяет предположить, что «рефлекторная» саккада, сделанная вынужденно, влечет за собой смещение внимание в место ее прихода. Словами авторов, «путь скрытого внимания мимикрирует под путь, которые совершат движения глаз» (с. 403).

1.5.1. Последовательности саккад

В пользу гипотезы о тесной взаимосвязи саккад и внимания имеются и более эффективные доказательства, которые были получены в экспериментах на последовательности из нескольких саккад. В своем эксперименте (2008) Baldauf и Deubel просили испытуемых выполнить последовательность саккад к двум или трем целевым буквам, расположенных вокруг точки фиксации в центре экрана, в течение одной попытки. Участники также должны были решать задачу опознания стимулов как в местах приземления саккад, так и в других местах. Было выявлено, что задача распознавания выполнялась успешно *на всех* местах, на которые приходили саккады, тогда как опознание остальных носило характер случайного угадывания даже тогда, когда они были рядом с пунктами назначения саккад. Авторы считают этот результат свидетельством того, что внимание распределялось параллельно на все три целевые точки последовательности, что по сути означает параллельное программирование множественных саккад. Во время осуществления этой последовательности внимание не перемещается на следующую цель прямо перед саккадой на нее, но вся последовательность планируется заранее, и все ее точки удерживаются во внимании до момента начала первой саккады.

Похожие результаты были получены в эксперименте Godijn и Theeuwes (2003), в котором испытуемые совершали по две саккады подряд: перед запуском

саккады обе точки назначения переводились в фокус внимания, что позволяло испытуемым эффективнее решать задачу распознавания стимулов, когда они находились рядом с одной из целевых пунктов саккад, по сравнению с появляющимися стимулами в других местах.

1.5.2. Момент смещения внимания на точку приземления саккады

Если признать убедительными доказательства того, что внимание перемещается в конечную точку предстоящей саккады, то возникает резонный вопрос: в какой именно момент это происходит?

В работе Dore-Mazars с соавт. (2004) утверждается, что момент перевода внимания в конкретную точку приземления с одновременной потерей ресурсов внимания в других точках происходит, когда моторная программа саккады уже готова и движение вот-вот будет запущено. Об этом писал также Kowler с соавт. (1995).

Дискутируя с этим положением, Deubel (2008) показал, что временные отношения между перемещениями внимания и саккадами могут быть гораздо более сложными и динамичными, чем кажется на первый взгляд. В своей работе он выявил, что внимание может переводиться в точку, находящуюся на периферии от точки фиксации и удерживаться там без немедленного перевода на нее взгляда (даже когда испытуемые должны осуществить саккаду). Он также обнаружил, что в других случаях движения глаз в место фокуса внимания осуществляются немедленно. Такие различия говорят о более гибких временных отношениях между вниманием и саккадами, которые могут быть обусловлены требованиями задачи или стратегии.

Кроме того, эти результаты бросают серьезный вызов премоторной теории, по которой смещение внимания обязательно влечет за собой моторный план, и поэтому временные рамки перевода внимания и перевода глаз должны быть очень сильно связаны. Однако же выводы Deubel с коллегами обнаруживают, как минимум, определенные ограничения этой теории.

Обобщая приведенные исследования, можно сказать о том, что перевод внимания в конкретную точку ведет за собой подготовку моторного плана перевода

в нее взгляда, однако это совершенно не означает, что движение туда глаз будет в итоге выполнено (Schneider, Deubel, 2002). Некоторые исследования, тем не менее, показывают, что эта связь не такая жесткая, а напротив, может быть весьма гибкой.

1.5.3. Премоторная теория внимания

Если между вниманием и саккадами действительно есть сильная связь, это является аргументом в пользу премоторной теории внимания (Rizzolatti et al., 1987; Craighero, Rizzolatti, 2005). основополагающим принципом этой теории является то, что внимание и планирование движений являются двумя сторонами одного процесса: перевод внимания в конкретное место по сути является намерением перевести взгляд в это место. Важно, что один и тот же нейронный механизм входит как в один, так и в другой процессы: «Внимание не является следствием и вообще не требует какой-либо контролирующей системы, отдельной от сенсомоторных путей. Внимание выводится из активации тех же сетей, которые в иных условиях обеспечивают восприятие и моторную активность» (“Attention does not result from, nor require a control system separated from sensorimotor circuits. Attention derives from activation of the same circuits that under other conditions, determine perception and motor activity”) (Craighero, Rizzolatti, 2005, с. 181).

Фундаментальным положением премоторной теории является то, что существует стадия обработки, на которой моторные команды планируются, но не исполняются (как при перемещениях скрытого внимания). Активация схем в нервной системе, которые преобразуют пространственную информацию в моторные планы, способствует повышению уровня моторной готовности и улучшению процесса обработки стимулов в конечной точке движения (эта логика применима ко всем типам движений, не только зрительным).

В пользу этой концепции внимания свидетельствуют результаты эксперимента Sheliga с соавт. (1994), в котором испытуемые должны были сфокусировать внимание в определенной точке, а затем после специального сигнала выполнять вертикальные или горизонтальные саккады. Авторы обнаружили, что траектории саккад смещались к месту фокуса внимания, даже когда задача не требовала саккад в этих зонах. В работе это объясняется тем, что

место расположения пространственного внимания приводит к активации нейронных механизмов, связанных с управлением саккадами.

Наиболее серьезным аргументом в пользу премоторной теории является перекрытие друг другом нейронных областей, участвующих в процессах внимания и генерировании саккад (Kustov, Robinson, 1996; Corbetta et al., 1998; Beauchamp et al., 2001). Например, Kustov и Robinson попытались проверить, каким образом связаны перемещения внимания и генерация саккад у мартышек, с помощью одновременной записи активности отдельных нейронов в верхнем холмике четверохолмия. Они обнаружили, что каждый перевод внимания был тесно связан с подготовкой движений глаз. Однако Klein (2004) затем спорил с этим выводом, утверждая, что в данном исследовании процессы моторной подготовки и скрытого внимания могли быть смешаны.

Moore и Fallah (2001) также показали, что микростимуляция нейронов фронтальных зрительных полей у мартышек улучшает процессы внимания, однако это наблюдалось только в том случае, когда объект внимания находился в той зоне, которая контролировалась стимулируемыми нейронами.

1.6. Факторы, влияющие на время подготовки саккадических движений глаз

В области измерения сенсомоторных параметров движений глаз исследуются возможные ответы на вопросы о том, сколько времени требуется мозгу для инициации саккады и какие факторы влияют на время подготовки саккад (Sumner, 2011).

Многочисленные исследования в данной области показывают, что даже для самых простых стимулов разброс показателей времени подготовки саккадических движений составляет от 100 до 500 мс. Опытные испытуемые при этом способны показывать результаты чуть лучше: их саккады быстрее, а внутригрупповая дисперсия меньше. Однако и у них встречаются саккады, вдвое превышающие по времени остальные.

Распределение показателей времени реакции считается главным критерием того, как мозг продуцирует ответ на стимул. Поскольку в исследованиях часто берется среднее время ответа, а его разброс принимается как должное, часто игнорируется недостаточное понимание этой дисперсии: если на некоторые стимулы испытуемый способен осуществить саккаду в течение 100 мс, почему на другие стимулы ему необходимо вдвое, а то и вчетверо больше времени?

Интересно отметить, что существует так называемая «задержка без принятия решения» (non-decisional delay), или «мертвое время» (dead time), которая делится на сенсорную задержку (промежуток времени от появления стимула до начала аккумуляции, около 60-100 мс) и исполнительную задержку (промежуток времени от достижения порога инициации саккады до собственно ее начала, примерно 20-30 мс).

Согласно литературным данным, существует несколько основных факторов, которые могут влиять на время подготовки саккадических движений глаз. Далее перечислим некоторые из них.

1) Эндогенные и экзогенные саккады

Экзогенными являются саккады, которые изначально были вызваны новым стимулом; эндогенные саккады вызываются некоей целью в отсутствие каких-либо изменений стимулов. В естественном зрительном восприятии присутствуют оба вида саккад. Главным образом скорость саккад определяется целью восприятия, но отдельные привлекающие внимание стимулы способны их ускорять.

2) Сила стимула и сенсорная задержка

Высококонтрастные стимулы, по сравнению с низкоконтрастными, быстрее вызывают моторный ответ. Кроме того, их сигналы быстрее обрабатываются сенсорной системой, что выражается в более короткой сенсорной задержке (Wheless et al., 1967; Carpenter, 2004).

Также существуют различия между цветными и черно-белыми стимулами: первые обрабатываются дольше вторых, что может объясняться, по крайней мере, частично, задержкой при обработке цветовых сигналов, по сравнению с черно-белыми (Bompas, Sumner, 2008). Однако минимальная сенсорная задержка – время

от появления стимула до самых ранних признаков моторной активности – составляет 60 мс, а это больше времени нейротрансмиссии от ретины по самому короткому пути. Это означает, что кратчайший сенсорный путь не является главным фактором, управляющим движениями саккад (Vompras, Sumner, 2009)

На время подготовки саккады влияет также ретинальный эксцентриситет: время саккады увеличивается по мере удаления проекции стимула от фовеа, но эта функция имеет форму U, в которой наименьшие значения времени саккады приходятся на промежуток от 2 до 10° со сравнительно долгим временем реакции для стимулов, находящихся на удалении 1-2° от фовеа (Kalesnykas and Hallett, 1994).

Влияние зрительных процессов на время саккад не является чисто bottom-up: существует также влияние процессов внимания, которые способны ускорить обработку зрительных сигналов и увеличить их амплитуду (Kowler et al., 1995; Pashler, 1998). Важно отметить, что нейронные системы, управляющие зрительным вниманием, пересекаются с теми, которые контролируют движения глаз (Kustov and Robinson, 1996; Shipp, 2004).

3) Ожидаемость, готовность и предупреждение (expectancy, readiness and warning)

В области исследований сенсомоторной активности принимается как должное тот факт, что время ответа сокращается в случае, если испытуемые знают, где и когда возникнет стимул, или когда и какой ответ от них потребуется. Такое влияние «сверху вниз» относится в основном к пространственному и временному вниманию в случае воздействия на сенсорные системы или к готовности и ожидаемости в случае воздействия на моторные механизмы.

Ожидаемость в контексте планирования саккад связана с пространственным аспектом: в каких областях зрительного поля цель может возникнуть с высокой вероятностью, а в каких – с низкой. Временная ожидаемость означает промежуток времени, через который возникнет цель. Примечательно, что хотя пространственная ожидаемость обсуждается гораздо чаще, во многих исследованиях было показано, что временная ожидаемость оказывает больший

эффект на время саккады (Findlay, Walker, 1999). Временная ожидаемость может быть обусловлена неким предупреждающим сигналом, связанным по времени с целевым стимулом, или просто какой-то закономерностью во времени предъявления стимулов.

4) Состязательность и подавление (competition and inhibition)

В повседневной жизни саккады осуществляются в условиях множества стимулов, что приводит к постоянному состязанию между намерениями направить саккаду в ту или иную точку: каждый порыв при этом как бы стремится первым преодолеть порог и инициировать саккаду (Leach, Carpenter, 2001). Однако если таких намерений много, то можно ожидать, что среднее время подготовки саккады снизится в случае, когда возможных целевых стимулов больше, так как увеличится вероятность того, что хотя бы одно из намерений сработает быстро. В этом случае не будет медленных саккад, поскольку их опередят другие намерения. Однако исследования (Findlay, Walker, 1999; Godjn, Theeuwes, 2002; Leach, Carpenter, 2001; Trappenberg et al., 2001) показывают, что это не так: среднее время подготовки саккады повышается по мере увеличения количества возможных целевых стимулов. В качестве одного из объяснений выдвигается гипотеза о взаимном подавлении различных намерений друг друга, поэтому в условиях их соревнования саккады планируются и инициируются дольше. Феномены состязательности и подавления изучались в рамках нескольких парадигм; рассмотрим подробнее наиболее простые.

1.6.1. Парадигма исчезающего стимула

Саккады даже на один-единственный стимул являются объектом состязания двух возможностей: инициировать движение взгляда на этот стимул или не запускать его вовсе. Зафиксированные стимулы в целом тормозят запуск саккад. Такой эффект демонстрируется в исследованиях, проведенных в рамках парадигмы исчезающего стимула (Saslow, 1967; Reuter-Lorenz et al., 1991), в которых было выявлено, что саккады осуществляются быстрее, если фиксационный объект затем исчезает примерно за 200 мс до появления целевого стимула (условие

исчезновения), по сравнению с условием, когда фиксационный объект остается (условие пересечения).

Такой феномен можно было бы объяснить предупреждающим эффектом исчезнувшей фиксационной фигуры, но это не является единственной причиной. К примеру, увеличение яркости фиксационного объекта является собой такое же предупреждение, как уменьшение, однако первое замедляет саккады, а второе их ускоряет (напр., Pratt, Bekkering, Leung, 2000).

В связи с этим, эффект исчезновения обусловлен подавляющим взаимодействием клеток, ответственных за контроль над фиксационной фигурой, и клеток, ответственных за планирование саккад (напр., Findlay, Walker, 1999). Такое подавление, связанное с фиксационной фигурой, преимущественно объясняется работой верхнего холмика четверохолмия (Munoz, Wurtz, 1992; Munoz, Fecteau, 2002).

1.6.2. Парадигма дистрактора

Другим хорошо изученным феноменом, демонстрирующим соперничество саккад, является эффект удаленного дистрактора (*remote distractor effect*). Он заключается в том, что запуск саккады тормозится, если где-либо в зрительном поле появляется нерелевантный стимул (Levy-Schoen, 1969; Vompas, Sumner, 2009).

Так же, как эффект исчезновения, эффект удаленного дистрактора считается по большей части автоматическим, поскольку он наблюдается даже при условии, когда направление цели саккады известно заранее, а дистракторы всегда появляются в противоположном поле зрения, то есть теоретически должны легко игнорироваться (Walker et al, 2000; Venson, 2008).

Предполагается, что данный эффект обусловлен масштабным латеральным взаимоподавлением между группами клеток, кодирующих саккады к цели и дистракторам, как на уровне верхнего холмика четверохолмия, так и на уровне кортикальных зрительных полей (Dorris, Olivier, Munoz, 2007).

1.6.3. Антисаккадная парадигма

Широко применяемым способом изучения феномена соревнования между экзогенными и эндогенными планами саккад является «антисаккадная задача», в

которой испытуемого просят совершать движение взгляда в направлении от целевого стимула, а не к нему (Hallet, 1978; Munoz, Everling, 2004). Период подготовки саккады в такой задаче в среднем длится дольше, поскольку в случае «антисаккады» требуется время еще и на решение конфликта между рефлекторным стремлением посмотреть на стимул и внутренним планом направить саккаду в противоположном направлении.

Антисаккадная задержка уменьшается в случае, если испытуемый знает, что потребуется именно она, а не выбор из просаккады (по направлению к цели) и антисаккады (в противоположном от цели направлении). При этом предполагается, что испытуемый не знает, где именно возникнет стимул, а значит, не может заранее подготовить запуск саккады.

Тем не менее, исследования показывают, что мозг способен подготовить некоторое top-down подавление саккадического рефлекса, независимо от места возникновения стимула (Everling et al., 1999; Everling, Munoz, 2000). Такое влияние «сверху вниз» обусловлено работой лобных областей, главным образом фронтальной и дополнительной зрительной коры (DeSouza, Menon, Everling, 2003). Однако даже при полной подготовке сохраняется определенный период торможения саккады, поэтому предполагается, что, так же, как и в парадигме дистрактора, влияние «сверху вниз» не может до конца компенсировать автоматический эффект появления стимула и последующее подавление саккады (Everling, Munoz, 2000).

1.6.4. Модель соревнования между саккадами

Во всех вышеописанных случаях наличие визуального стимула автоматически вызывает возбуждение в зоне планирования саккад и принятия решения об их направленности (например, верхний холмик четверохолмия), которое тормозит активность, требуемую для запуска саккад.

В модель этого процесса необходимо включить три компонента (Korcz, 1995; Trappenberg et al., 2001; Godjin, Theeuwes, 2002). Во-первых, активность, обусловленная появлением стимулов, вызывает моторную состоятельность даже когда испытуемому известно, что часть стимулов не релевантна решению

задачи (например, наблюдается некоторое автоматическое возбуждение в моторных областях коры). Во-вторых, это возбуждение должно также подавлять активность, связанную с запуском других саккад, до момента превышения порога. В-третьих, должен существовать некоторый компонент подавления, обусловленного целью, которое способствует преодолению нерелевантной активности с тем, чтобы большая часть времени была потрачена все же на нужную саккаду.

Предполагается, что существует как минимум два типа подавляющего воздействия: автоматическое взаимное угнетение соревнующихся групп клеток и гибкое подавление.

1.6.5. Детерминанты распределения времени подготовки саккад

Распределение параметра времени подготовки саккад также подвержено влиянию различных факторов. Изучение данного показателя ведется в нескольких контекстах, которые будут описаны ниже.

В качестве одного из релевантных феноменов приводятся *экспресс-саккады*.

На рисунке показан разброс показателей длительности саккад на простой стимул. На графике (Рис. 6) можно заметить небольшой горб, репрезентирующий дополнительное распределение очень быстрых саккад, получивших название экспресс-саккад (напр., Fischer, Boch, 1983; Fischer, Ramsperger, 1984). Такие саккады встречаются довольно часто в простых экспериментах, особенно тех, в которых поощряются быстрые саккады, например, в рамках парадигмы исчезновения (Fischer, Boch, 1983; Fischer, Ramsperger, 1984; Munoz, Wurtz, 1992), или в которых скорость важнее точности (Reddi, Carpenter, 2000).

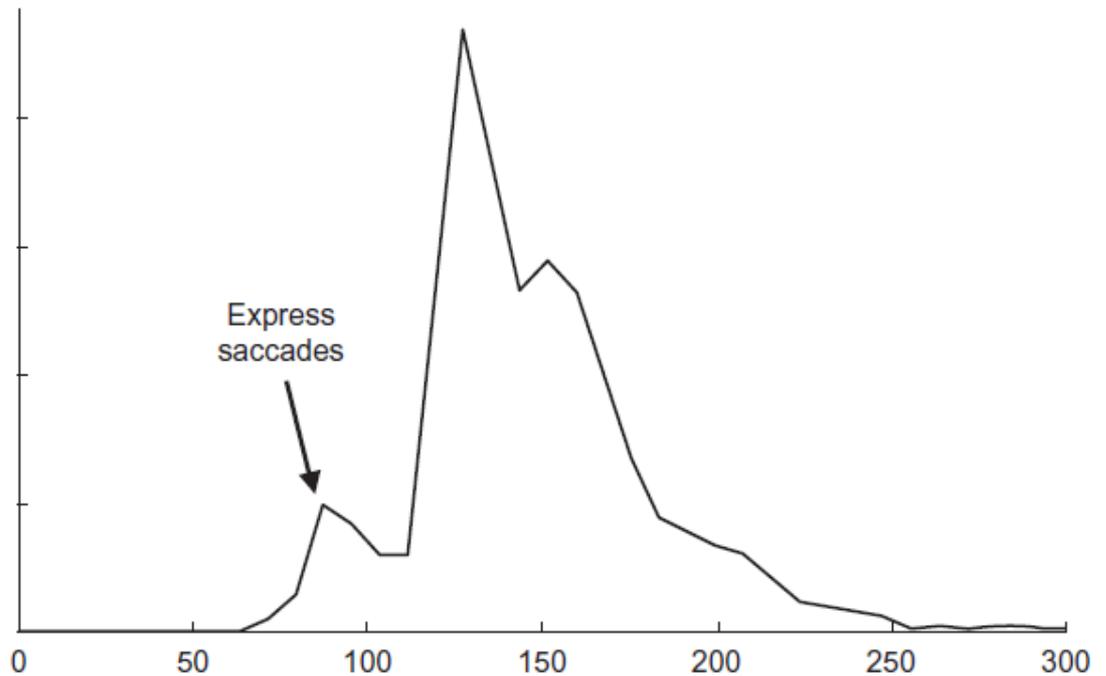


Рисунок 6. Распределение саккад и экспресс-саккад (Sumner, 2011)

Почему экспресс-саккады оказываются настолько быстрее остальных? Одним из объяснений может быть то, что они не вызываются стимулами, а являются успешными догадками, начатыми прямо перед тем, как на самом деле появляется стимул (Anderson, Carpenter, 2008). Другое возможное объяснение заключается в том, что саккады запускаются благодаря очень быстрой зрительной информации, проходящей не по первичным зрительным путям для саккад, а по каким-то другим (Schiller et al., 1987). Самым вероятным кандидатом на этот иной путь мог быть ретинотектальный (retinotectal) – прямой путь от сетчатки к верхнему холмику четверохолмия. Однако экспресс-саккады наблюдаются также и на цветные стимулы (Womras, Summer, 2008), к которым ретинотектальный путь невосприимчив.

Вывод о том, что экспресс-саккады не используют специальный зрительный путь, был обозначен и в исследовании Carpenter (2001), который обнаружил, что они появляются преимущественно в тех попытках, где целевой стимул возникает в противоположной стороне от цели в предыдущей попытке. Carpenter предположил, что экспресс-саккады являются продуктом форсирования, когда саккады имеют то же направление, что и обратные саккады

от предыдущей цели (Anderson, Yadav, Carpenter, 2008). Такое объяснение не может считаться полным, поскольку в других исследованиях не было выявлено строгой зависимости появления экспресс-саккад от последовательности мест появления целевых стимулов в попытках (Bompas, Sumner, 2008). Тем не менее, представляется правдоподобной идея о том, что экспресс-саккады зависят от состояния системы перед появлением стимула (Munoz et al., 2000).

Экспресс-саккады считаются наиболее рефлекторными из саккадических движений и потому могут быть названы одним из проявлений окуломоторного рефлекса схватывания (*visuomotor grasp reflex*) – тенденции переводить взгляд на неожиданно появившийся стимул. В то же время исследование Edelman с соавт. (2007) показало, что даже эти наиболее рефлекторные типы саккад могут быть подвержены влиянию обучения. Авторы эксперимента делают вывод о том, что когнитивные процессы высшего уровня могут влиять на самые рефлекторные движения глаз, даже когда эти когнитивные процессы не поддаются сознательному контролю.

Таким образом, можно заключить, что экспресс-саккады возникают, только тогда, когда факторы колебаний внимания, ожидаемости стимула, готовности, критерия и моторного прайминга (обусловленных предыдущими саккадами) совпадают таким образом, что саккада направляется именно в то место, где впоследствии возникнет целевой стимул.

Эволюционная перспектива

Факт существования экспресс-саккад возвращает нас к вопросу, который озвучивался ранее: если некоторые саккады могут быть настолько быстрыми, почему большинство других остается медленными даже при решении очень легких задач? С эволюционной точки зрения, может быть два возможных объяснения существования недостаточно оптимальной системы: 1) существуют биологические ограничения, не позволяющие улучшить систему выше уровня, который уже есть; 2) некоторое свойство этой системы дает общее адаптивное преимущество, которое перевешивает очевидные недостатки (и недостатки при этом являются необходимым следствием наличия этого преимущества).

Промедление как признак ума

Одним из правдоподобных аргументов представляется тот, что система развивалась не для того, чтобы быть быстрой, а для того, чтобы быть эффективной в сложной окружающей среде, а это требует определенной медлительности (напр., Carpenter, 1999). Очевидно, что существует огромная разница между нашим пониманием того, как вызываются простые саккады под воздействием ярких стимулов в лабораторных условиях и как направляется большинство саккад при естественном рассматривании окружающей среды. Направление большинства естественных саккад невозможно достоверно предсказать, исходя из анализа «bottom-up» стимулов – наиболее ярких, быстрых или контрастных объектов (Henderson, 2003). Вместо этого система ведет себя «умнее»: она направляет саккады в те места, где может возникнуть важная для текущей задачи информация (напр., Findlay, Gilchrist, 2001).

По этой причине наиболее быстрые пути, по которым мозг мог бы инициировать саккады, могли быть отрегулированы на меньшую скорость, чтобы обеспечить процессы более медленного и более тщательного восприятия. Можно предположить, что в процессе эволюционного развития скорость моторных клеток, запускающих саккады, постепенно уменьшалась с тем, чтобы не реагировать на слишком простые или нерелевантные стимулы, а освободившееся время тратить на более сложную обработку зрительной информации. Такая гипотеза объясняет, почему в лабораторных условиях практически невозможно добиться очень быстрых саккад даже при соответствующей инструкции. Однако остается невыясненным, почему и на простые стимулы наблюдается такой большой разброс показателей времени саккады.

Работа моторных клеток, по сравнению с сенсорными, представляется более вероятным источником разброса времени подготовки саккад – это показывается рядом исследований на приматах (Sato, Schall, 2003; Thompson et al., 1996). Аналогичные выводы были получены при моделировании саккадической активности у человека (Carpenter, 2004; Ludwig, Gilchrist, 2006).

Вариабельность времени саккад как компонент выбора

В своей работе Carpenter (1999) утверждает, что вариабельность считается не признаком слабости системы, а преимуществом, целенаправленно выбранным в ходе эволюции, поскольку такой разброс в механизмах принятия простых решений является важной составляющей выбора – способности не совершать из раза в раз одинаковые действия в сходных ситуациях. Например, некоторый элемент случайности в двигательных решениях приносит выгоду: поведение животного не может быть с легкостью предсказано хищником.

Поскольку в скоростных моделях выборы являются следствием того, какое из намерений первым достигнет порога, в них выбор строго связан с увеличением скорости. Чтобы достигнуть вариабельности в выборе действий, система должна также иметь вариабельность и в скорости. В связи с этим можно говорить о том, что весь репертуар систем принятия решения у человека с самого начала возник с вариабельностью скорости как ключевым свойством, которое обеспечивает «гибкость, креативность и проницательность» (Schall, Thompson, 1999). Так как некоторые стимулы сильнее других, задержка во времени реакции является важным свойством системы, позволяющей уравнивать все стимулы между собой и выбрать затем наиболее релевантный (Carpenter, 1999).

1.7. Особенности зрительного восприятия экспертов в различных областях деятельности

Многочисленные исследования в области экспертного знания показывают, что эксперты отличаются от новичков не только количеством часов, посвященных выбранной деятельности. В условиях нахождения в релевантной ситуации они демонстрируют совершенно специфические характеристики внимания, восприятия, мышления и др.

Reingold и Sheridan (2011) пишут, что движения глаз экспертов во время решения релевантных задач характеризуются двумя основными отличительными чертами. Во-первых, это более высокий уровень декодирования ключевых

элементов ситуации: эксперты способны точно и практически мгновенно выделять значимые паттерны. Во-вторых, эксперты при этом используют таситное, неявное знание, которое было описано в работах М. Полани и Р. Стернберга. Одной из важных особенностей такого вида знания является его бессознательный характер и, как следствие, трудность вербализации его компонентов.

Исследования, посвященные отличиям когнитивных процессов экспертов, по сравнению с новичками, проводились во множестве самых разных областей: науке (Jarodzka et al., 2010; Tai et al., 2006), авиации (Ahlstrom, Friedman-Berg, 2006), спорте (Mann et al., 2007), преподавании (Behets, 1996) и др. В контексте психологической науки наиболее значимой и богатой в плане исследовательского материала признается сфера шахматной игры. Рассмотрим наиболее важные и известные исследования в этой области.

1.7.1. Экспертиза в области шахматной игры

Игру в шахматы в качестве экспериментальной ситуации стали использовать с конца 19-го века. Chase и Simon (1973) сравнивают роль шахмат в изучении когнитивных процессов с ролью, которую сыграла мушка дрозофила для генетики. Шахматы широко использовались для изучения проблем выбора, особенностей принятия решения. Значимым вкладом шахмат в психологию является эмпирический и теоретический материал, позволивший перейти от одной концепции экспертной компетентности к другой, более прогрессивной.

Первые концепции специфики экспертной деятельности предполагали, что искусное решение профессиональных задач являлось продуктом высокоуровневого общего интеллекта и природного таланта. Более поздние концепции, используемые и сейчас, заключают, что экспертная деятельность характеризуется использованием совершенно особого типа знания, нарабатываемого в ходе длительной и интенсивной практики (Ericsson, Charness, 1994).

Этот знаменательный переход к новому пониманию компетентности был совершен по результатам работ Groot (1946, 1965) и Chase с Simon (1973). В своем эксперименте Groot на короткое время (2-15 сек) показывал шахматные позиции,

пропадавшие из поля зрения по истечении времени. Было выявлено, что опытные игроки оказались способными практически идеально точно воспроизводить расположение шахматных фигур. Процент правильного названия локаций 25 фигур из одного предъявления достигал 93%. Менее опытные игроки продемонстрировали худшие результаты.

Данный эксперимент был повторен и дополнен Chase и Simon (1973): кроме реально возможных игровых позиций, они предъявляли еще и такие, где фигуры были разбросаны по полю случайным образом. Авторам удалось подтвердить выводы эксперимента Groot, а также показать, что опытные игроки лучше воспроизводили не только отдельные элементы, но всю позицию в целом, даже если она была нереалистичной. По поводу последнего вывода о лучшем запоминании экспертами случайного расположения фигур существуют альтернативные объяснения. Например, Gobet и Simon пишут, что более эффективное запоминание связано со случайным появлением знакомых конфигураций в рандомных позициях (1996).

Тем не менее, вышеуказанные эксперименты позволяют предположить, что гроссмейстеры, используя специфические способы декодирования игровой ситуации, способны быстро находить наиболее перспективные ходы и выделять их из всего огромного множества возможных ходов. В связи с этим предположением, авторы подчеркивают ключевую роль перцептивного кодирования шахматной конфигурации.

Возвращаясь к эксперименту Chase и Simon (1973), важно указать главную составляющую способности эффективного планирования при поиске хорошего хода, которую выделяют авторы. Они считают, что наиболее важным процессом, лежащим в основе шахматного мастерства, является не логико-дедуктивное мышление, а мгновенное визуально-перцептивное «схватывание» ситуации. Авторы предполагают следующие особенности формирования такой способности. В ходе интенсивного обучения и практики опытные игроки выстраивают связи между воспринимаемыми группами фигур, которые могут быть структурированы по типу, цвету или роли. Постепенно долговременная память выстраивает

комбинации и наиболее эффективные взаимодействия таких групп, что позволяет в дальнейшем просматривать не отдельные ходы, но изменения целых групп фигур в условиях заданной позиции. С целью изучения того, сколько же таких конфигураций хранится в долговременной памяти опытного шахматиста, был проведен ряд исследований. Так, Simon и Gilmarin (1973) показали, что количество конфигураций варьирует от 50 до 100 тысяч. В более позднем исследовании, однако, постулируется запас объемом 300 тысяч конфигураций (Gobet, Simon, 2000).

Согласно Reingold и Charness (2005), для изучения особенностей глазодвигательной активности опытных шахматистов принято использовать три вида задач. Рассмотрим исследования, в которых они применялись.

Первый тип задач связан с наличием фигур, которые потенциально могут атаковать фигуры соперника. Наиболее простым и легко замечаемым случаем в рамках данной задачи является возможная атака вражеского короля, или шах.

Reingold с коллегами провели эксперимент (2001), в котором испытуемые-шахматисты были разделены на три группы: новички, игроки среднего уровня и эксперты. Участникам предъявлялся фрагмент шахматного поля размером 3x3 клетки, в котором были черный король и одна или две потенциально атакующих фигуры. В начале каждой пробы испытуемые фиксировали взгляд на центральной клетке, которая всегда была пустой. Свойственный экспертам визуальный охват более широкого диапазона элементов позволял им совершать меньшее количество фиксаций и направлять их не на сами элементы, а на отношения между ними. Для того, чтобы исключить гипотезу о влиянии на результаты экспертов привычки восприятия именно шахматных фигур, авторы заменили символические изображения фигур на их буквенные обозначения. Последние являются менее привычными и менее легко схватываемыми для всех категорий шахматистов.

В результате эксперимента были получены диаграммы движений глаз всех групп испытуемых. Их анализ показал, что у экспертов, по сравнению с остальными группами, наблюдалось гораздо больше фиксаций в центральной области изображения, что говорит о том, что они были способны решать задачу, не

глядя на сами фигуры. Было также выявлено, что экспертам требовалось меньшее количество фиксаций для нахождения ответа.

Другой тип шахматных задач задействует парадигму мерцания (Rensink et al., 1997), которая заключается в том, что изначальное изображение незаметно для испытуемого меняется на модифицированное. Эксперимент с решением подобных задач был проведен Reingold с коллегами в 2001 году. В нем авторы использовали два вида шахматных позиций: реальные и случайные. Каждая позиция включала в себя 20 фигур.

Суть исследования заключалась в следующем. Испытуемым в течение 1000 мс предъявлялась шахматная позиция, которая на 100 мс сменялась пустым экраном, после чего на 1000 мс предъявлялась измененная позиция, в которой одна из фигур менялась на другую. Задачей шахматистов было обнаружить, какую именно фигуру заменили. Поскольку для того, чтобы заметить такого рода изменение, не требуется каких-то специфических знаний, эта методика позволяет исследовать широкий круг шахматистов – от самых новичков до гроссмейстеров.

Результаты оказались достаточно предсказуемыми: эксперты гораздо быстрее замечали изменения позиции, что говорит об их способности мгновенно охватывать достаточно широкую область изображения. Очень важным является различие между результатами восприятия реальных и рандомных позиций: изменения реальных позиций эксперты схватывали гораздо эффективнее. Это свидетельствует о том, что причиной их более высокоуровневого выполнения являются не общее превосходство в восприятии или памяти, но именно длительная практика шахматной игры.

Наконец, третий тип задач связан с выбором лучшего хода из возможных. Такие задачи представлены в эксперименте Charness и соавт. (2001). Для повышения экологической валидности шахматистам предъявлялось всё поле. Испытуемым предлагалось проанализировать игровую ситуацию и назвать наиболее перспективный ход. При анализе глазодвигательной активности учитывались только первые 5 фиксаций. В результате было выявлено, что

эксперты, по сравнению с середнячками, значимо чаще фиксировались на пустых клетках.

Данный эксперимент был дополнен и воспроизведен повторно спустя несколько лет (Reingold, Charness, 2005). В новой версии исследования анализировались фиксации в течение первых 10 секунд решения задачи. Такая модификация была осуществлена с целью дифференциации процессов восприятия, решения проблемы и оценки этого решения. Кроме того, отдельно анализировались соотношение фиксаций длиной более и менее 500 мс. Количество длительных фиксаций (более 500 мс) было сравнительно больше у группы экспертов. Касательно динамики и смены различных процессов в течение первых 10 секунд предъявления было показано, что во второй половине этого промежутка эксперты уже начинают решение задачи, в то время как менее опытные испытуемые продолжают визуальное восприятие конфигураций.

Суммируя результаты приведенных исследований восприятия опытных шахматистов, можно сделать общий вывод о том, что их восприятие характеризуется фиксацией не на отдельных элементах, но на их взаимоотношениях. Это, в свою очередь, позволяет предположить, что перцептивная деятельность экспертов включает в себя автоматическую параллельную обработку сразу нескольких конфигураций фигур.

1.7.2. Общие характеристики восприятия экспертов

Итак, мы можем выявить общие характеристики, присущие экспертам в различных сферах деятельности. Во-первых, видение релевантных особенностей изображения является профессионально специфическим и вырабатывается в течение длительной практической деятельности. Во-вторых, экспертное восприятие основывается на внутренних визуальных схемах: для максимально эффективной работы необходимо расширять «словарь» зрительных комбинаций. Наконец, в-третьих, представляется крайне вероятным, что работа эксперта не является полностью осознаваемой и доступной вербализации. Рассмотрим подробнее третий пункт о бессознательном компоненте экспертного видения.

Скрытое, или неявное, знание рассматривалось в работах философа Майкла Полани. Под этим термином он подразумевал такое знание, которое не может быть легко передано другим. Он сравнивал становление такого вида знания с использованием трости слепым человеком: сначала трость – инструмент, а граница тела человека проходит по его пальцам, которыми он держит трость. Однако по мере овладения тростью как связующим звеном между миром и субъектом, она сама становится частью человека, а граница тела теперь находится на дальнем конце трости. Неявное знание не может быть задано формальными правилами, а может быть получено только через обучение или личный опыт.

Это неявное знание полагается одной из главных составляющих экспертной деятельности. Как уже обсуждалось выше, это знание достаточно сложно выявить: поскольку оно имеет по большей части неосознаваемый характер, даже сами эксперты оказываются неспособными передать его другим. В этой связи необходимо использовать максимально объективированные методы, например, фиксацию движений глаз.

Анализ экспертного восприятия имеет крайне важное практическое значение: показано, например, что в области рентгенологии достаточно высок процент пропуска патологических отклонений: он может достигать 30% (Austin, Romney, Goldsmith, 1992). Такие пропуски можно разделить на ошибки сканирования, ошибки опознавания и ошибки при принятии решения. В исследовании Kundel с соавт. (1978) было выявлено соотношение этих видов ошибок: ошибки сканирования наблюдались в 30% случаев, опознавания – в 25% и принятия решения – в 45% случаев.

Указанные исследования предоставляют достаточно убедительные доказательства того, что одним из ключевых компонентов экспертного восприятия является глобальное видение ситуации. Кроме того, учеными подчеркивается роль скрытого знания и стоящих за ним бессознательных процессов, которые по-прежнему остаются малоизученными. Помимо теоретической значимости этих исследований, имеется также практическая: изучив закономерности работы эксперта, можно эффективнее обучать профессиональной деятельности студентов

и создавать компьютерные программы, способные в автоматическом режиме проводить точную диагностику.

1.8. Концепции понятий в западной психологии

В связи с тем, что одним из важных аспектов данной работы являются математические понятия и категоризация, важно рассмотреть данную проблему с теоретических позиций. Под термином «категоризация» мы понимаем мыслительную операцию определения одного или нескольких стимулов как соответствующих заданной категории. В области психологии существует несколько теорий того, что есть понятия, как они формируются и эксплицируются. Наиболее известными и объемными являются классическая теория понятий, модель прототипов, теория экземпляров, теория, основанная на знании, теория метафоры, понятия как схема действия, воплощенное познание. В отечественной психологии было разработано несколько подходов к проблеме понятия, которые, наряду с вышеперечисленными, будут кратко рассмотрены далее.

1.8.1. Классическая концепция понятий

Классический взгляд на понятия упоминается еще в трудах Аристотеля, полагавшего, что определения являются наиболее приемлемым способом обозначить значение слова и его принадлежность к какой-то категории (Apostle, 1980). Многие философы и психологи затем использовали в своих исследованиях подход, постулировавший, что дефиниция понятия несет в себе исчерпывающую информацию об объекте, перечисляет его необходимые и достаточные признаки, а также обозначает, к какой категории он относится.

Основными положениями классической теории понятий являются следующие. Во-первых, понятия имеют ментальные репрезентации в виде дефиниций. Во-вторых, классическая теория постулирует, что каждый отдельный объект может либо принадлежать определенной категории, либо нет: межкатегориального положения не существует. Этот аспект отражает философскую основу подхода: согласно закону исключенного третьего, любое утверждение может быть либо истинным, либо ложным. Еще одним важным

положением классической теории, которое затем оспаривалось в теории прототипов, является равенство всех членов категории. Иными словами, все объекты, входящие в категорию, являются одинаково типичными ее представителями.

Очевидными преимуществами данного подхода являются таксономическая структура, позволяющая четко разделить объекты по категориям, а категории – между собой; легкость хранения в долговременной памяти, поскольку каждое понятие требует лишь свои основные характеристики и ссылку на вышерасположенную категорию; дедуктивные возможности, так как множество следствий могут быть выведены из таксономической структуры; иерархическая структура; логическая организация.

Несмотря на очевидные достоинства классической теории понятий, она имеет существенные недочеты. Виттгенштейн (1953) поставил под вопрос само предположение о том, что важные понятия вообще могут быть определены. Для иллюстрации этого аргумента он использовал понятие игры: оказалось, что практически невозможно перечислить основные признаки игры так, чтобы они не пересекались с чертами неигровых видов деятельности, например, охоты или простого бросания мяча в стену. Философ утверждал, что довольно сложно определить необходимые и достаточные признаки большинства категорий реального мира.

Позже Hampton, соглашаясь с позицией Виттгенштейна, писал о том, что люди не способны дать эксплицитные определения многих понятий (1979). Более того, перечисляя характерные признаки членов категорий, они могут называть черты, не принадлежащие всем представителям данной категории. Исследование McCloskey и Glucksberg (1978) показало, что по некоторым спорным случаям испытуемые высказывают противоположные мнения относительно его принадлежности к той или иной категории, и их мнение может меняться в течение коротких промежутков времени.

1.8.2. Теория прототипов

В контексте данной работы важны исследования «типичности» представителей категорий, проведенные Э. Рош с соавт. (Rosch, 1975; Rosch, Mervis, 1975). Согласно модели прототипов, существуют более и менее типичные представители той или иной категории. Более типичные вспоминаются респондентами быстрее, требуют меньше времени для обработки и вызывают меньше сомнений при решении задачи на отнесение их к одной из категорий (Battig, Montague, 1969; Rosch, 1975; Rosch, Mervis, 1975).

При этом существует несколько интерпретаций теории прототипов. Согласно одной из них, каждая категория может быть представлена единственным прототипом, или лучшим примером. Это означает, что есть некий идеальный представитель категории, сочетающий в себе все ее важные признаки и дающий о ней исчерпывающее представление. Из степени близости отдельного представителя к прототипу выводится понятие типичности: наиболее типичные объекты имеют максимальное сходство с прототипом, а объекты, имеющие пограничное положение между несколькими категориями, содержат в себе признаки, схожие с чертами прототипов соответствующих категорий (Posner, Keele, 1968, 1970).

Сама Э. Рош впоследствии отрицала то, что она предлагала и разделяла данную интерпретацию (Rosch, Mervis, 1975, с. 575), поскольку такая точка зрения является довольно спорной из-за очевидного вопроса: существует ли в самом деле идеальная птица, которая могла бы стать представителем всех остальных птиц – маленьких и больших, летающих и нелетающих, черных, синих, белых и многих других? Имеются определенные сомнения, что единичный прототип способен дать полную информацию о вариабельности целой категории (Posner, Keele, 1968; Medin, Schwanenflugel, 1981).

Другая интерпретация теории прототипов являет собой итоговую репрезентацию, в которой целая категория представлена какой-то определенной, суммирующей репрезентацией, а не отдельными для каждого представителя или различных их классов (Murphy, 2002).

Итоговая репрезентация может быть описана в терминах концепции фамильного сходства Rosch и Mervis (1975). Данная концепция постулирует наличие наиболее важных, критически необходимых признаков для выбранной категории. Например, для категории «оружие» важнейшим признаком является способность причинять вред, и, хотя многие виды оружия сделаны из металла, данный признак имеет намного меньший вес (Murphy, 2002). Кроме того, типичные представители категории имеют больше общих черт с другими объектами этой категории и меньше – с представителями других категорий (Rosch, Mervis, 1975).

В отличие от репрезентации в виде лучшего примера, в случае суммарной репрезентации список черт категории может включать противоположные признаки, каждый из которых имеет свой вес. После определения всех признаков объекта, человек складывает все их веса и на основании критерия категоризации определяет принадлежность объекта к заданной категории. Другими словами, чем больший вес имеют признаки объекта, тем более вероятно его попадание в категорию.

Теория прототипов объясняет аспекты, с которыми не справилась классическая концепция: 1) Не существует какой-то одной черты, необходимой для отнесения объекта к категории; 2) Становятся понятными причины существования спорных объектов, определение принадлежности которых вызывает затруднения; 3) Становится ясным, почему типичный объект можно категоризовать быстрее, чем нетипичный: типичные имеют признаки с большим весом (Rosch, Mervis, 1975; Barsalou, 1985).

1.8.3. Теория экземпляров

Данная теория была предложена Medin и Shaffer (1978). В ней отвергается идея о том, что у людей имеется некая репрезентация, отражающую целую категорию. Так, понятие собаки не является определением, включающим всех собак, так же как не является списком признаков, в той или иной мере имеющихся у всех собак. Понятие собаки в данной концепции – это набор всех собак, которых индивид помнит. В каком-то смысле, реального понятия в привычном его понимании не существует, поскольку нет суммарной репрезентации, отражающей

всех собак. Некоторые образы более отчетливые, некоторые почти забыты, однако все они влияют на принятие решения о принадлежности объекта к этой категории.

Так же, как теория прототипов, теория экземпляров способна объяснить феномен сходства: каждый раз производится оценка степени сходства нового объекта с уже виденными и подсчитывается количество представителей каждой из категорий, на которых похож новый объект. Типичные объекты могут быть категоризованы быстрее, потому что они похожи на большее количество представителей категории.

Некоторым людям этот подход может показаться контринтуитивным. К примеру, большинство людей не вспоминает сознательно всех собак, которых они видели в своей жизни. Однако в признаковых концепциях и эмпирических исследованиях доступ ко всем признакам объектов осуществляется крайне быстро и автоматически. Другим аргументом является то, что людям кажется, что они знают некоторые факты обо всех собаках вообще, а не только об отдельных представителях. Однако всё, что известно обо всех собаках, может быть тем общим, что объединяет только те увиденные в жизни экземпляры.

Для подсчета сходства объектов Medin и Tversky предложили мультипликативное правило, согласно которому количество расхождений по каждому признаку выражается в числе от 0 до 1, где 0 – отсутствие сходства. Выяснилось, что из-за мультипликативности даже небольшие расхождение по отдельным чертам приводят к сильному итоговому различию между объектами.

В определенном смысле и теория прототипов, и теория экземпляров, являясь реакцией на классическую концепцию, оказываются соперничающими друг с другом. Существуют эмпирические данные в пользу теории прототипов, например, эксперимент Rosner и Keele (1968), в котором субъекты обучались выделению нескольких прототипов на основе множества паттернов точек. На тестовой стадии испытуемым предъявлялись вариации одного из трех прототипов и давалась обратная связь, какой именно тип был показан, однако сами исходные прототипы не предъявлялись. Затем, в основной серии эксперимента, участники категоризовали уже виденные паттерны, новые вариации прототипов, и наконец

сами прототипы. Было показано, что испытуемые лучше категоризовали именно прототип, по сравнению с новыми паттернами, не участвовавшими в тренировочной серии. Поскольку прототип является базисом для всех других объектов, он должен в какой-то степени быть похожим на них всех, а для нового объекта это неверно.

Другой результат еще сильнее опровергает теорию экземпляров в пользу теории прототипов. Rosner и Keele (1970) исследовали процесс категоризации сразу после усвоения категории и затем повторно через неделю. Оказалось, что сразу после обучения испытуемые более точно определяли элементы, на которых они тренировались (старые элементы), затем по точности следовал прототип, и только затем новые элементы, которые они не встречали в процессе тренировки. Однако спустя неделю память о старых элементах заметно ухудшилась, тогда как результаты по прототипу ухудшились незначительно. Авторы считают, что, если бы преимущество прототипов объяснялось памятью, по нему наблюдалось бы такое же ухудшение после перерыва. Они делают вывод о том, что в процессе обучения испытуемые сформировали прототип, который каким-то образом противостоит забыванию, в отличие от отдельных экземпляров – возможно, потому, что прототип базируется на многих объектах, а не на одном.

Похожий эффект был показан в исследовании Strange et al. (1970) и Bomba, Sequeland (1983). Например, по мере того как усваивалось всё больше и больше экземпляров категории, память на старые элементы ухудшалась, тогда как преимущество прототипа увеличивалось (Knapp, Anderson, 1984). Возникает тот же вопрос: если все эти экземпляры обусловлены процессами памяти, почему эффективность категоризации старых экземпляров и прототипа меняется в противоположных направлениях?

Объяснение этого результата было дано в исследовании Medin, Schaffer (1978): образы старых элементов со временем угасают, а прототип (не участвующий в обучении) получает преимущество.

Nosofsky (1988) провел эксперимент с цветными пятнами, различающимися по насыщенности и яркости: более насыщенные и яркие попадали скорее в одну

категорию, менее – в противоположную. Автор варьировал частоту, с которой предъявлялись некоторые стимулы: более часто появлявшиеся пятна стали более типичными. Это говорит о том, что важен не сам объект, а количество встреч с ним. Другими словами, в примере с соседским бульдогом он, встреченный сто раз, создает 100 экземпляров бульдога, а не один.

Barsalou, Huttenlocher, Lamberts (1998) указали на возможное противоречие в этом выводе: неизвестно, как эти пятна воспринимали испытуемые. Поскольку это не объекты в полной мере и дифференцировать их достаточно сложно, воспринимали ли их участники как те же самые пятна, а не просто похожие, а значит не расценивали ли они их как отдельные экземпляры?

Ответ на этот вопрос был дан в эксперименте Barsalou et al. (1999), в котором повторилась процедура предыдущего эксперимента, однако участники были поделены на две группы. Первой группе давалась инструкция, что все объекты будут уникальными, а второй – что они могут повторяться. Результатом стало то, что в большинстве проб не было обнаружено разницы между двумя этими условиями. Следовательно, неважно, видится ли один и тот же бульдог 100 раз, или это 100 разных бульдогов – воздействие на понятие бульдога будет тем же. Как заключают Barsalou с соавт., этот вывод может быть рассмотрен как в теории прототипов, так и в теории экземпляров. Обеим теориям стоит уточнить, как именно подсчитываются объекты (сколько признаков или экземпляров рассматривается), поскольку данные эмпирики свидетельствуют о том, что количество встреч с объектами важнее, чем сами объекты.

1.8.4. Теория, основанная на знании (knowledge-based theory)

Теория прототипов и теория экземпляров появились в противовес классической концепции. Подход, основанный на знании, напротив, появился как реакция на эти два подхода и в каком-то смысле использовал их как базу.

Данный подход предполагает, что понятия являются частью общего знания о мире. Мы не изучаем понятия отдельно от всего остального (как в случае большинства психологических экспериментов). Напротив, мы усваиваем их как часть нашего всеобщего понимания окружающего мира. Например, если мы

встречаемся с новым животным, это меняет наше представления о биологии в целом.

Даже дети имеют базовые представления о биологии (Gelman, Wellman, 1991; Keil, 1989), что показывает исследование, в котором дети видели изображения большого серого гуся и маленького белого гусенка, и, тем не менее, заключали, что это родитель и детеныш.

В целом, данный подход утверждает, что люди используют предыдущий опыт для рассуждения о новом объекте при принятии решения о его принадлежности к какой-либо из категорий или при усвоении новой категории.

В одном из описаний этот аспект понятий отнесен к ментальным теориям о мире (Murphy, Medin, 1985). В описанном примере ребенок не имеет полной теории биологии, но он имеет некоторые базовые представления, которые частично интегрированы. Поэтому данный подход иногда называют концепцией теорий (theory view) или даже теорией теорий (theory theory). Термин «теория» при этом совпадает с научным пониманием теории, что, возможно, является не совсем точным определением знаний человека (Gentner, Stevens, 1983). В связи с этим некоторые исследователи предпочитают использовать термин «знание» («knowledge») (Murphy, 2002).

Некоторые аспекты, которые обсуждались относительно теории прототипов, релевантны и для подхода, основанного на знании. К примеру, одной из причин использования схем для репрезентации понятий, является то, что они могут отражать отношения между признаками и измерениями. Это лишь один из способов репрезентации знаний о домене. Например, мы можем знать, что животные без крыльев не умеют летать, таким образом, существует взаимосвязь между слотом схемы, описывающем части тела, и слотом, описывающем возможные действия.

На категоризацию объектов влияет также наше знание о том, как каждая категория соотносится с другими сферами нашей жизни. К примеру, мы знаем, что транспортные средства сделаны так, чтобы люди могли на них перемещаться из одного места в другое. Следовательно, мы можем применить наши общие знания,

чтобы оценить, насколько хорошо различные транспортные средства могут выполнять свои функции.

Важность такого знания может быть проиллюстрирована таким видом категорий, который Barsalou назвал категориями, обусловленными целью (*goal-derived categories*). Это такие категории, которые определяются исключительно в терминах того, насколько их представители способны выполнить определенные цель или план. Barsalou показал, что наиболее типичные представители таких категорий были наиболее приближенными к идеалу.

Одним из важных положений подхода, основанного на знании, является то, что в процессе изучения новых понятий люди не полагаются на одно только наблюдение или учет признаков. Скорее они обращают внимание на те признаки, которые в предыдущем опыте оказались важными.

Очевидным ограничением данной теории является то, что большинство понятий не может базироваться на прошлых знаниях. В связи с этим, этот подход не ставит своей целью объяснить происхождение всех понятий апелляцией к полученным ранее знаниям. Он предполагает также механизм обучения, основанный на эмпирическом опыте. Однако предположение о том, что эмпирический и «знаниевый» компоненты легко делимы, является спорным. Возможно, они сложным образом взаимодействуют между собой, и нужно изучать их вместе, чтобы понять каждый по отдельности (Wisniewski, Medin, 1994).

1.8.5. Теория метафоры

Описанные выше концепции отражают достаточно теоретизированный процесс усвоения понятий, который не затрагивает телесного, сенсомоторного опыта взаимодействия с реальностью.

Один из подходов, позволяющих преодолеть разрыв между понятием и эмпирическим опытом, сформировался в русле когнитивной лингвистики. Он был предложен Johnson и Lakoff в 1980 году. Анализируя большое количество зафиксированных высказываний, они делают вывод о том, что понимание всегда опирается на чувственный опыт взаимодействия с окружающей средой, в частности на ее пространственные характеристики. Формирование абстрактных

вербальных понятий происходит при помощи лингвистических средств: метонимий, метафор, переноса и смешения значений.

Ранее в западной традиции метафора рассматривалась исключительно в качестве языковой конструкции, однако Дж. Лакофф впервые приводит анализ метафоры как понятийной структуры (Lakoff, Johnson, 1980). В современной когнитивной психологии метафора определяется как одна из основных умственных операций, сочетающая в себе способ познания мира, его категоризации, оценки и объяснения. Метафора при этом выполняет двойную функцию: с одной стороны, она служит для эстетического выражения мыслей, а с другой, – для концептуального осмысления мира. Эстетический компонент при этом имеет важную способность отражать эмоциональную оценку окружающей среды.

Согласно концепции когнитивной метафоры Дж. Лакоффа и М. Джонсона, метафоризация формируется на основе взаимодействия между структурами знаний двух глобальных концептуальных доменов – источника и мишени (source domain & target domain). В ходе онтогенетического развития происходит однонаправленная метафорическая проекция элементов домена источника на домен мишени, что структурирует его концептуальный базис. В качестве источника знаний, составляющих концептуальные звенья, выступает опыт телесного, сенсомоторного взаимодействия индивида со средой, на основе которого происходит категоризация действительности в виде «схем образов» – простых когнитивных структур.

Следовательно, концептуальные метафоры являются средством осмысления более абстрактной сферы («мишени») в терминах более знакомой, конкретной сферы («источника»). В рамках эмпирических исследований было показано, что в группе говорящих на одном языке концептуальные метафоры зачастую оказываются взаимосвязанными, подкрепляющими друг друга и образующими в итоге сложные системы. Было выявлено, что тематически более конкретные метафоры подтверждают более общие; при этом конкретные метафоры отмечаются в отдельных культурах, тогда как более общие метафоры характеризуются универсальностью (Ченки, 1996).

На данный момент можно отметить несколько концепций, существующих в рамках когнитивного подхода к исследованию метафоры как основы понятийного аппарата: классическая теория концептуальной метафоры Дж. Лакоффа и М. Джонсона (Lakoff, Johnson, 1980), теория концептуальной интеграции М. Тернера и Ж. Фоконье (Turner, Fauconnier, 2000), когерентная модель метафоры Б. Шпельмана и коллег (Spellman, Ulman, Holyoak, 1993), теория первичных метафор Дж. Греди (Grady, 1997) и др.

В рамках данной работы важен следующий аспект теории метафоры. В концепции принципиально отвергается объективистский подход к познанию, по которому мир состоит из четких сущностей, наделенных определенными характеристиками и состоящими в различного рода отношениях с другими сущностями; и все перечисленные элементы могут быть описаны при помощи теоретико-множественных моделей (Лакофф, 2011).

1.8.6. Теория перцептивных символьных систем

Другой подход, решающий проблему оторванности абстрактных сущностей от физического мира, был предложен L. Barsalou (1999) и получил название теории перцептивных символьных систем. В данной концепции понятие полагается эквивалентом модели-имитатора, которая, в свою очередь, представляет собой схематический полимодальный образ объектов выделенной категории, которые были объединены в ходе научения.

Эта модель образуется путем объединения информации от всех детектирующих нейронов, обеспечивающих восприятие объектов соответствующего класса. Характеристика схематичности при этом подразумевает организацию процессов внимания в систему, позволяющую дифференцировать поступающие сигналы.

На основе ключевых характеристик конкретной ситуации внимание способно выделять различные аспекты объекта, например, визуальные, звуковые или кинестетические параметры, функциональные возможности, пространственную организацию и т.д. В зависимости от текущей задачи,

перечисленные типы свойств могут активироваться отдельно, порождая схематичную структуру модели-имитатора.

В данной теории (Barsalou, 2003) абстракция может быть достигнута путем построения моделей-имитаторов не для объектов физического мира, а для отношений между ними и их отдельных свойств. Фиксация на отдельных параметрах, а также переключение между ними, осуществляются с помощью механизмов селективного внимания. Сама абстрактная категория при этом никогда не становится застывшей и законченной; напротив, она является пластичной структурой, акцентирующей тот опыт, который релевантен индивиду в текущий момент и для текущей задачи. Такое свойство модели, как ее пластичность, объясняет способность человека конструировать, а не вспоминать огромное количество свойств объектов, имеющих значение для конкретной задачи.

Поскольку данная концепция понятия не является признаковой, характеристики объектов не существуют в ней как предзаданные и определенные раз и навсегда. Напротив, они могут конструироваться в зависимости от ситуации, к примеру, для выполнения вербальной инструкции или в результате произвольного контроля.

Важно отметить, что сам процесс восприятия происходит произвольно либо под влиянием процессов внимания. В связи с этим, изначальный массив получаемой информации задается параметрами анализаторных систем и системами нейронов-детекторов. Управление процессом восприятия в соответствии с целями индивида и имеющейся у него системой понятий в данной концепции не предполагается, что идет вразрез с другими теориями, рассматривающими взаимоотношения процессов восприятия и мышления, существующими, например, в отечественной психологии.

1.9. Концепции понятий в отечественной психологии

1.9.1. Проблема понятия в работах Л.С. Выготского

Проблема понятия достаточно подробно рассматривалась в трудах Л.С. Выготского. Автор исследовал не только вопрос структуры отдельного понятия,

его соотношения с другими понятиями и места в общей системе, но также генетический аспект: каким образом происходит формирование и становление понятий в сознании индивида.

Выготский критиковал логическую схему образования понятий, в которой выделяются сходные черты отдельных представителей категории и на основе такой ассимиляции релевантные признаки становятся еще ярче и заметнее, а случайные и индивидуальные признаки взаимно стирают друг друга. Такую схему Выготский считал абсолютно не применимой к реальному взаимодействию субъекта с миром (1934).

Однако критика формально-логического подхода противоречит взглядам Выготского на высшую степень развития понятия – истинное понятие, которое он формулирует как слово, характеризуемое значением в виде набора абстрагированных признаков: «Понятие возникает тогда, когда ряд абстрагированных признаков вновь синтезируется и когда полученный таким образом абстрактный синтез становится основной формой мышления, с помощью которого ребенок постигает и осмысливает окружающую его действительность» (Выготский, 1934, с 153). В связи с этим можно заключить, что система родовидовых отношений остается логической.

Важным вкладом Выготского в понимание данной проблемы является идея о системной организации понятий, позволяющей обнаруживать новые отношения между объектами, не заложенные в эмпирическом опыте (Выготский, 1934). Как и в любой системе, понятия образуют между собой вертикальные и горизонтальные связи, а формирование новых отношений между двумя понятиями осуществляется через высшее и общее для них обоих.

Однако такая концепция способна объяснить решение лишь узкого класса задач, поскольку далеко не все проблемы могут быть решены исходя из родовидовых отношений. Если бы взгляд Выготского был верным, мышление было бы способно обнаружить лишь те связи, которые уже заложены в имеющейся понятийной системе, но, как можно увидеть, в истории науки новые подходы

приносили собственный понятийный аппарат, так как старый был не в состоянии решать актуальные проблемы.

Другой идеей Выготского, оказавшей значительное влияние на последующее развитие проблематики, было положение о качественном развитии понятий в процессе онтогенеза. Кроме того, автор принципиально разделял житейские и научные понятия по источнику их развития.

В случае житейского понятия развитие происходит начиная с первого знакомства со словом через практику и постепенное обобщение до осознания его значения в гораздо более старшем возрасте, когда образуются «подлинные и настоящие понятия» (Выготский, 1934). Научные понятия, напротив, изначально имеют структуру истинных понятий и в процессе онтогенеза постепенно «передают» житейским понятиям свойственный им способ обобщения и сформированные образцы мыслительных операций.

Источником научных понятий является специально организованное взаимодействие с учителем, который уже обладает сформированной и осознанной системой научных понятий. Данное положение перекликается с основной концепцией Выготского о принципиальной роли культурно-исторического опыта и социокультурного окружения как носителя и источника формирования высших психических функций и в частности понятийного мышления.

Таким образом, с точки зрения Выготского, истинное понятие обладает свойствами высших психических функций: социальностью, системностью, опосредованностью и произвольностью. Осознание значений понятий позволяет произвольно оперировать ими и тем самым направлять процесс мышления; следовательно, понятие в данном случае выступает в качестве средства мышления.

Подводя итог, в концепции Л.С. Выготского рассматривается два вида понятий: научные и житейские, которые имеют разные источники развития. Житейские понятия в ходе онтогенетического развития и практической деятельности проходят стадии от синкретов через комплексы и псевдопонятия до истинных понятий. Последние обладают предикативной системой признаков, которая в полной мере осознается. Научные понятия исходят в готовом виде

истинных понятий от учителя в ходе специально выстроенного вербального взаимодействия. Полученные таким образом научные понятия меняют содержание и структуру житейских, формируя способы обобщения и мыслительные операции, присущие истинным понятиям.

1.9.2. Проблема понятия в работах А.Н. Леонтьева

Изучение проблемы понятия было продолжено А.Н. Леонтьевым, который выразил несогласие с постулируемым Выготским принципом единства аффекта и интеллекта, называя его слишком идеалистическим. Леонтьев полагал, что решение проблемы разрыва между когнитивной сферой и аффективной мотивацией заключается в единстве сознания и деятельности (Леонтьев, 2003).

Основной идеей теории Леонтьева было положение о том, что овладение понятием базируется на овладении лежащей за ним операцией: «... образование понятия есть, таким образом, результат столкновения человека с материальной действительностью в процессе отношения к ней, в процессе практики» (Леонтьев, 2003, с. 326).

Леонтьев также разделяет житейские и научные понятия по источнику их становления. Если житейские понятия появляются в ходе обобщения практической деятельности ребенка со средой, то научные понятия формируются в процессе особого типа деятельности – теоретического. Под влиянием социальной среды развивается дискурсивный, вербальный тип мышления, что позволяет ребенку делать обобщения на основе не практических действий, а словесного содержания.

В ранних работах Леонтьева подробно рассматриваются путь усвоения понятий, процессуальный компонент психического и делается вывод о том, что структура деятельности соответствует структуре сознания. В более поздних работах автор продолжает исследование структуры деятельности, которая в итоге была выражена в схеме «деятельность-действие-операция-психофизиологические механизмы».

В русле этой логики понятие проходит следующие этапы становления. Изначально оно появляется в рамках практической деятельности, являясь действием для решения некоторой задачи. Затем это действие становится всё более

точным, автоматизированным и постепенно включается во все более сложные действия, превращаясь в конце концов в операцию. Со временем операции формализуются и принимают вид «соответствующих алгоритмов, формул, аксиом и т.д.» (Леонтьев, 1964, с. 90).

Процесс формирования понятий в онтогенезе происходит в условиях общения со взрослыми, которые являются носителями готовых форм «исторически выработанных значений». Значения Леонтьев понимает как операции в идеализированной форме, запечатленные в ходе исторического развития (Леонтьев, 1975). В таком случае, однако, остается проблема перехода значений, вырабатываемых в общественном опыте, в индивидуальное сознание субъекта, проблема их соотношения: «Это проблема особенностей функционирования знаний, понятий, мысленных моделей, с одной стороны, в системе отношений общества, в общественном сознании, а с другой – в деятельности индивида, реализующей его общественные связи, в его сознании» (Леонтьев, 1975, с. 144).

Этот вопрос решается автором встраиванием значения в систему сознания между звеньями чувственной ткани и личностного смысла. Леонтьев считал, что значение, как правило, соотносится с чувственными ощущениями, и лишь одна – внешняя – сторона понятия может существовать в отрыве от эмпирического наполнения. Ко внешней стороне можно отнести, к примеру, формальную запись понятия, его определение.

Можно заметить, что значение в работах Леонтьева обладает свойством объективности, а его содержание разделяется другими индивидами. Важно, что они имеют внешний источник и встраиваются в индивидуальное сознание независимо от личностных особенностей субъекта.

1.9.3. Проблема понятия в работах С.Л. Рубинштейна

В своих работах С.Л. Рубинштейн делает акцент на понятийном мышлении как на процессе, с помощью которого индивид может выделять не только общие черты между объектами, но также существенные. В онтогенезе познание изначально осуществляется путем сравнения, характерного для исключительно эмпирического взаимодействия с миром. В более развитой форме познания,

теоретической, используются операции анализа и синтеза, позволяющие разобрать изучаемые объекты на элементы и выделить наиболее существенные черты, после чего соединить несколько абстракций, воссоздав объекты с учетом обнаруженных характеристик (Рубинштейн, 2005).

Следовательно, автор показывает, что общие и существенные черты связаны между собой, причем общность может служить индикатором существенности. Более того, существенные свойства соотносятся не с объектом вообще, а с точки зрения требований основной задачи (Рубинштейн, 1958). При решении нескольких задач – основной и вспомогательной – результат анализа вспомогательной задачи используется как существенное для решения основной задачи. Другими словами, анализ через синтез обеспечивает выявление новых свойств, которые не могут быть обнаружены без использования мыслительных операций.

В трудах С.Л. Рубинштейна познание рассматривается с точки зрения существования и функционирования человека в мире, при этом понятия выступают в качестве результата этого взаимодействия (Рубинштейн, 2003). С помощью мышления индивид оказывается способным выявлять категории, не существующие объективно, но познаваемые в ходе субъективного взаимодействия.

В более поздних работах (напр., Рубинштейн, 2003) понятие существенного постепенно сменяется понятием сущности, понимаемой как свойство мира со включенным в него познающим индивидом. Следовательно, в процессе познания как деятельного взаимодействия с миром проявляется сущность бытия. В данной концепции сущность вещей не заложена в объективном мире, а может меняться в зависимости от целей и установок познающего субъекта.

Специфика научного познания, по Рубинштейну, заключается в том, что в нем субъектом познания выступает индивид общественный, и, следовательно, сущностные параметры научных понятий являются универсальными для всех членов общества вне зависимости от индивидуального практического опыта.

Автор также выделяет роль чувственного опыта в познании: «... восприятие, неразрывно связанное с действием, есть встреча и взаимодействие двух реальностей, форма познания, служащая непосредственным свидетельством

существования. В восприятии и действии происходит непосредственное соприкосновение с «поверхностью» сущего (существующего)» (Рубинштейн, 2003). Восприятие выявляет не объективные части мира, как они есть, а всегда опосредуется прошлым и текущим взаимодействием человека с миром.

1.9.4. Проблема понятия в работах П.Я. Гальперина

В исследованиях П.Я. Гальперина получила свое дальнейшее развитие идея А.Н. Леонтьева о деятельностной природе понятий. Согласно Гальперину, ребенок постепенно овладевает понятиями через развернутые практические действия, которые со временем автоматизируются и сворачиваются в умственные (Гальперин, 1966).

Сама модель понятия может быть признана формально-логической, поскольку понятие рассматривается как набор признаков. Однако этот набор признаков существует не отдельно от конкретики, а отражает список действий, которые могут быть применены по отношению к объекту. Понятие Гальперин описывает как «обобщенный и отвлеченный образ объекта» с характерными для него чертами, а образ возникает в результате действия, которое обнаруживает определенные признаки объекта.

В целом, однако, данная концепция постулирует формально-логическую модель понятия, содержащую множества и подмножества объектов. В контексте математических понятий, которые будут исследоваться в эмпирической части данной работы, сложно говорить о применимости концепции планомерного обучения понятиям. Это связано с тем, что в математике понятия могут разрабатываться в процессе и результате математической деятельности, а признаки и свойства понятий обнаруживаются в дальнейших исследованиях. Теория Гальперина в этом смысле не позволяет объяснить решение математических задач, требующих выработки новых понятий или качественного пересмотра старых.

1.9.5. Проблема понятия в работах В.В. Давыдова

В.В. Давыдов предлагает деление понятий на эмпирические и теоретические.

В рамках рассмотрения путей образования эмпирических понятий Давыдов критикует формально-логический подход к проблеме понятия, в котором постулируется переход от образа восприятия через представление к понятию. По мере движения от избыточных чувственных образов, наполненных множеством конкретных признаков, происходит их постепенное наложение на признаки других объектов. В результате такого абстрагирования, на основе нескольких объектов одной категории обнаруживается нечто общее, присущее всем членам группы. Однако Давыдов замечает, что общее не равно существенному, и последнее в данном случае означает присутствие данного признака не только у этих некоторых представителей класса, но у всех (Давыдов, 2000).

Если принять за верную формально-логическую модель понятия, то для отнесения объектов к определенному классу, необходимо заранее знать список признаков, которые обобщены в понятии, что явно не соответствует действительности. Автор критикует такой подход, постулируя, что включение объектов в рамки понятия определяется степенью применимости к ним конкретного способа действия, входящего в состав исторически значимой деятельности по преобразованию выделенных объектов. Указанные способы действия формулируются и оттачиваются в ходе взаимодействия с учителем, специальным образом подбирающим примеры, в которых уже заложены действия для реального овладения понятием.

Теоретическое понятие, по Давыдову, определяет существенные стороны объекта, его сущность – то, благодаря чему понятие появилось, генетически исходную всеобщую форму. Понятие при этом вновь выступает в роли определенного способа действия.

Усвоение научных понятий происходит в рамках учебной деятельности, тип которой может быть назван квази-исследовательским, поскольку она в сокращенной форме повторяет и тем самым демонстрирует путь возникновения определенного понятия.

Выработка понятий всегда движется от практики, многократного выполнения действий, связанных с понятием. По мере оттачивания навыка и

сопутствующих действий ребенок выделяет сам образ, схему действия, который впоследствии может быть перенесен на новые ситуации. В рамках обобщения такой квази-исследовательской практики в ней можно выделить две идеи: специальная организация в рамках учебной деятельности и выполнение действий с целью решения конкретной задачи.

1.10. Современные концепции математических понятий

В отличие от концепций понятий в психологии, понятия в математической области обладают своей спецификой. Математические объекты являются результатом выделения количественных и пространственных отношений из явлений окружающего мира и сами по себе не существуют в реальности. Они являются идеальными объектами, присутствующими в мышлении человека, а также в знаках и символах, образующих математический язык.

С учетом высокой степени формализованности этой сферы знания, усвоение понятий в математике долгое время объясняли с позиций классического понятийного подхода, при котором понятие включает множество объектов, обозначаемых одним термином (объем понятия), и множество всех существенных свойств объекта, отраженных в конкретном понятии (содержание понятия). Рассмотрим, например, понятие прямоугольника: объемом данного понятия будет множество различных прямоугольников, а содержанием – определенные свойства («наличие четырех прямых углов», «равенство противоположных сторон», «равенство диагоналей» и т.д.). Между объемом и содержанием понятия имеется обратная взаимосвязь: к примеру, объем понятия «квадрат» является часть объема понятия «прямоугольник», а в содержании понятия «квадрат» содержится больше свойств («равенство всех стороны», «взаимная перпендикулярность диагоналей» и т.д.). Эта взаимосвязь отражает также тесную взаимосвязь между различными математическими понятиями и отношениями между их объемом и содержанием.

Несмотря на логичность и длительное использование классического подхода к математическому образованию, современные концепции усвоения математических понятий, которые будут рассмотрены далее, учитывают то, что

они надстраиваются над повседневным опытом индивида и меняют его структуру: ребенок осваивает идеальные математические понятия, осуществляя операции над реальными объектами. Особое значение в этом процессе имеет воплощенность процесса познания, его тесная связь с телесным, сенсомоторным опытом, образным мышлением и воображением.

1.10.1. Когнитивно-лингвистический подход воплощенного познания

К математическому знанию был применен когнитивно-лингвистический подход Лакоффа и Ньюнеза. Исследователи показали, что математическое, как и любое другое знание, не является объективным и законченным, а усваивается в ходе естественных процессов познания, а также на основе сенсомоторного опыта (Nunez, Lakoff, 1998; Lakoff, Nunez, 2000). Работа с математическими текстами осуществляется при помощи универсальных когнитивных механизмов, таких как зрительные схемы, переносы значений, метафоры.

В данной концепции акцентируется, что математика как область знания обладает чрезвычайной формализованностью, а значит, для понимания математических понятий необходимо осуществить метафорический перенос из более перцептивно-нагруженной, естественной ситуации. Однако при таком рассмотрении упускается роль математического формализма как такового. Между тем, он является довольно существенной частью математического знания и далеко не во всех случаях базируется на телесном опыте. Напротив, история математики демонстрирует множество примеров, когда развитие теоретических конструктов было итогом выработки удобных способов записи математических выкладок (Юшкевич, 1970).

С точки зрения психологии, математические обозначения, являющиеся свернутой формой отображения математических действий первого порядка, сами становятся предметом дальнейших действий. В итоге образуется новый опыт, который впоследствии становится содержанием будущих понятий.

1.10.2. Теория APOS (act-process-object-schema)

Данная теория (действие-процесс-объект-операция) разрабатывалась Э. Дубински и соавторами как продолжение поздних трудов Ж. Пиаже для

адекватного отображения специфики математических понятий. В основе концепции лежит идея о рефлексивной абстракции по действию. В отличие от эмпирической абстракции, которая обеспечивает отвлечение от случайных признаков внешних объектов и выявление общих, рефлексивная абстракция фокусируется на инвариантах самих действий. Важно, что свойства действий сохраняются вне зависимости от объектов, над которыми они осуществляются (Dubinsky, 1991). Оба вида абстракции работают взаимосвязанно: действия над объектами помогают обнаружить внешние свойства этих объектов, а выделение общих свойств создает основу для предметных действий.

В названии теории отражены четыре этапа овладения понятием: действие, процесс, объект и схема. По мере усвоения понятия индивид последовательно проходит перечисленные стадии, при этом предыдущая присутствует в последующей в свернутом виде и при необходимости может быть развернута вновь.

На стадии действия субъект осуществляет некоторое *действие* с физическими объектами согласно определенной инструкции. На этом этапе индивид способен выполнять это действие по отношению к разным объектам, однако оно существует для него только в плане внешнего воплощения. «Действие – это преобразование объектов, воспринятых индивидом как преимущественно внешнее, и требующее ... пошаговой инструкции, каким образом выполняется операция» (Dubinsky, McDonald, 2000).

По мере того, как одно и то же действие выполняется множество раз, у субъекта формируется его внутренняя ментальная конструкция – *процесс*, для рефлексии над которым более не нужны внешние объекты. Это выражается в том, что индивид может думать об осуществлении действия в отрыве от его непосредственного выполнения, а значит, он может выполнять его, например, в обратном порядке или в сочетании с другими действиями (там же).

На следующей стадии, когда индивид начинает осознавать процесс в целом и его возможные трансформации, из процесса конструируется *объект*. Такой переход получил название инкапсуляции (Dubinsky, 2000). На данном этапе

появляется возможность разделять между собой подклассы понятия, сопоставлять входящие в него объекты. Важно, что предыдущая стадия процесса не исчезает, а, напротив, «деинкапсулируется», поскольку для сопоставления нескольких объектов необходимо вернуться к самому процессу. Авторы концепции высказывают предположение о том, что большая часть математического знания включает в себя постоянный переход от процесса к объекту и обратно (там же).

Наконец, схема конкретного математического понятия являет собой «совокупность действий, процессов, объектов и других схем, связанных некоторыми общими принципами для формирования основы... решения проблемной ситуации, включающей данное понятие. Эта основа должна быть упорядоченной, согласованной в том смысле, что она способна обеспечить, имплицитно или эксплицитно, средства для определения, какие феномены входят в состав схемы, а какие – нет» (Dubinsky, McDonald, 2000). Важно отметить, что в этой концепции слово схема означает не схему действия, а упорядоченную систему элементов.

В рамках развития теории авторы рассматривают три этапа развития схем: Интра, Интер и Транс. Первая стадия, Интра, характеризуется фокусом на отдельных действиях, процессах и объектах изолированно от других когнитивных элементов сходной природы. На второй стадии – Интер – похожие конструкты начинают пониматься как элементы одной системы; индивид способен объединять их в группы под единым именем. Отдельные операции воспринимаются субъектом как примеры одной и той же деятельности. На последней стадии, Транс, индивид выстраивает имплицитную или эксплицитную структуру, лежащую в основе взаимоотношений, выявленных на предыдущей стадии. Это обеспечивает согласованность схемы, благодаря которой субъект способен определить, входит ли отдельный элемент в данную схему (Dubinsky, McDonald, 2000).

1.10.3. Концепция множественных репрезентаций

Как следует из названия концепции, математическое понятие в ней рассматривается как сочетание информации из нескольких регистров (Duval, 2006; Dreher, Kuntze, 2015).

Согласно одному из авторов концепции, Р.Дувалу (2002, 2006), особенность математики как области знания заключается в том, что объекты в ней представлены исключительно через знаковые репрезентации. Дискутируя с представителями телесного подхода к познанию, Дувал возражает, что в данном случае не существует возможности напрямую обратиться к стоящему за знаками телесному опыту. Понятия формируются путем соотнесения различных семиотических систем между собой.

Автор использует понятие регистра как отдельной знаковой системы. Для разных типов деятельности (например, доказательства или коммуникации) могут быть выделены разные регистры. В целом, автор делит их на два типа: монофункциональные и полифункциональные.

Монофункциональные могут быть использованы исключительно в математике в виде строгих алгоритмов: например, логические выражения, алгебраические вычисления и т.д. Полифункциональные регистры используются во многих процессах (осознания, воображения, мышления); в этом случае создание строгих алгоритмов невозможно. Полифункциональные регистры могут быть, в свою очередь, разделены на дискурсивные и недискурсивные репрезентации (Duval, 2006). Индивид может активировать регистры по отдельности или осуществлять переходы с одного на другой в зависимости от удобства в контексте выполнения конкретных операций.

Усвоение математических понятий становится возможным при объединении хотя бы двух репрезентаций. В рамках этого процесса наблюдаются сложности в виде недостаточного изоморфизма между регистрами, трудностей перевода с языка одной репрезентации на язык другой, использовании репрезентаций, относящихся к полифункциональным регистрам.

В этом контексте можно упомянуть известное деление математиков на геометров и алгебраистов: первые предпочитают решать задачи графическими методами (даже если это не всегда быстрее или удобнее), а вторые используют алгебраические выкладки. Такой феномен получил название модулярности, обособленности отдельных модулей в мышлении (Elia et al., 2009). Важно, что

специальные занятия по переходу с одной типа репрезентаций на другой могут улучшить понимание математических концептов (Gagatsis, Shiakalli, 2004).

Концепция множественных репрезентаций подчеркивает важный аспект математических понятий: для высокого уровня усвоения они не могут быть представлены в виде единственного формального определения. Напротив, они должны сочетать в себе несколько репрезентаций, берущих свое начало в разных регистрах и отражающих разные свойства и стороны понятия. Стоит также отметить отсутствие алгоритмизированности визуальных репрезентаций при том, что они рассматриваются в качестве знаковых.

Итак, нами был приведен краткий обзор источников, посвященных проблеме понятия в психологии. Были рассмотрены различные теории в рамках когнитивного подхода, лингвистического, отечественной психологии к понятию вообще и к математическому понятию в частности. В каждой из указанных теорий имеются определенные аспекты понятий, релевантные для нашего эмпирического исследования.

Нам представляется, что наилучшим образом они объединены в рабочей модели математического понятия, сформулированной в кандидатской диссертации А.Ю. Шварц (2011). В ней автор рассматривает математическое понятие как единицу индивидуальной системы значений. Понятие при этом выступает одновременно в виде постоянно трансформирующегося, развивающегося набора знаний и инструмента мышления. Схематическое изображение модели представлено на Рис. 7.

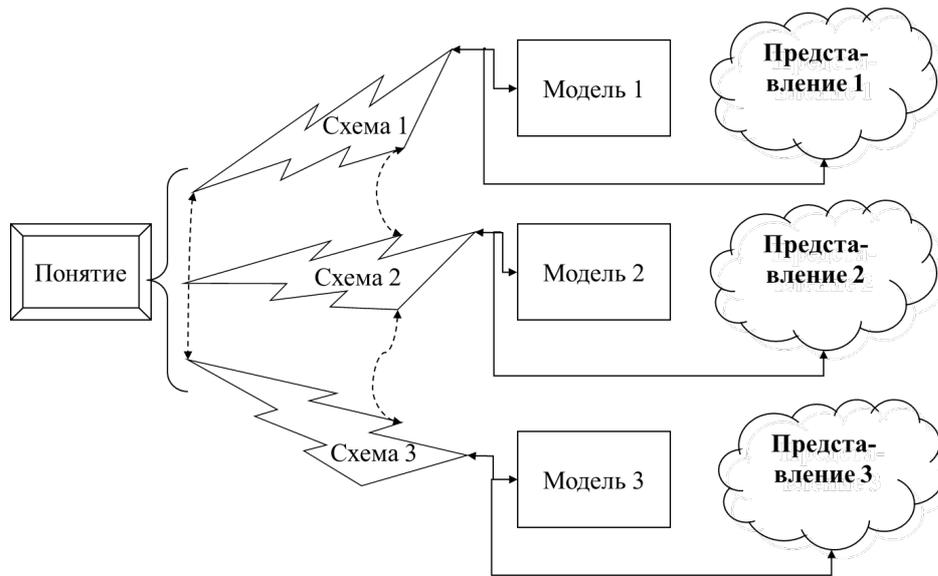


Рисунок 7. Рабочая модель математического понятия в концепции А.Ю. Шварц (2011)

А.Ю. Шварц подчеркивает, что математические понятия, как и любые научные понятия, постоянно развиваются, «но не по пути дальнейших закономерных вариаций одной абстракции (схемы) ... Происходит более четкое вычленение и фиксация в знаковой форме различных заложенных в предметных действиях схем ..., а также все большая координация различных схем и установление способа их взаимоподдержки» (Шварц, 2011).

Важен также способ овладения понятием – через обобщение соответствующих действий. Изначально в качестве предмета действия выступают модели, в которых в результате общего развития науки уже свернуты требуемые действия. В целях наиболее полного обобщения необходимо обеспечить ситуацию, в которой действие будет решением конкретной задачи. По мере решения подобных задач модель начнет использоваться в соответствии с культурно-закрепленной схемой действия и в итоге станет репрезентацией математического понятия.

По итогам серии собственных эмпирических исследований автор делает следующие выводы. Математическое понятие понимается как система схем, или способов действий по преобразованию различных знаково-символических моделей, каждая из которых может быть воспринята индивидом в виде

представления. По мере обучения математическому знанию понятия наполняются требуемыми схемами в рамках овладения соответствующими математическими действиями. Анализируя роль чувственных представлений, автор заключает, что они являются обязательной составляющей сформированного математического понятия. Важно, что они представляют собой не статичное образование, а сложную психологическую структуру, которая может иметь форму либо пространственного образа, либо формальной записи, готовой для алгоритмического преобразования.

1.11. Категориальный зрительный поиск

В контексте западной психологии и когнитивной науки категоризация (categorization), категория (category) и понятие (concept) имеют схожие значения. Большинство представителей когнитивной науки согласны тем, что понятие является ментальной репрезентацией набора сущностей, или категории, то есть понятия являются ссылкой на категории (Medin, Rips, 2005). Главными функциями понятий являются категоризация и коммуникация, и в рамках данной работы нас интересует главным образом категоризация. Она представляет собой процесс, при котором ментальные репрезентации (понятия) определяют, является ли некая сущность членом определенной категории. Категоризация обеспечивает широкий спектр сопутствующих функций, поскольку определение объекта как члена категории позволяет индивиду перенести свои знания о целой категории на новый экземпляр (там же).

В настоящее время в области когнитивной науки и в частности зрительного поиска достаточно интересным и только набирающим популярность является один из видов поисковой задачи – *категориальный поиск*, или поиск объекта, заданного понятием, категорией. Данная разновидность поиска специфична тем, что цель имеет не конкретные физические черты, указанные инструкцией (например, красный круг или зеленая вертикальная черта), но она принимает вид любого из представителей заданной категории. Задача категориального поиска, по сравнению с типичными поисковыми задачами, ориентированными в основном на низкоуровневые перцептивные признаки, является гораздо более экологичной: в

реальной жизни при необходимости выбросить обертку, мы ищем *любую* урну, не зная заранее, каких форм, размера и цвета она будет (Zelinsky, 2013).

Ранние исследования категориального поиска показали, что степень эффективности поиска гораздо выше в условии предварительного предъявления изображения цели, по сравнению с условием указания только ее названия (Wolfe et al., 2004; Vickory, King Jiang, 2005). Основываясь на этих результатах, некоторые авторы предположили, что преаттентивный (до привлечения внимания) анализ визуальных характеристик не влияет на поиск целевой категории (Castelhana, Pollatsek, Cave, 2008). Однако другие авторы полагают, что неэффективный поиск не означает, что он неуправляемый: Yang и Zelinsky (2009) провели собственное исследование, в котором испытуемым предлагалось найти плюшевого мишку среди других бытовых объектов. Подтвердив данные о преимуществе зрительной подсказки, по сравнению с вербальной, авторы также обнаружили, что категориально заданные цели фиксировались с первой же саккады чаще, чем можно было бы ожидать при случайном поиске. В другом исследовании (Schmidt, Zelinsky, 2009) было показано, что степень «управляемости» поиска возрастала по мере увеличения количества вербальной информации о цели.

Управляемость, направленность (guidance) поиска в контексте категориального поиска является предметом дискуссии: часть авторов считает, что категориально заданный поиск обладает направленностью (Schmidt, Zelinsky, 2009; Yang, Zelinsky, 2009), в то время как другие исследователи не согласны с этим утверждением (Castelhana, Pollatsek, Cave, 2008; Wolfe et al., 2004; Vickory, King, Jiang, 2005). Отдельного рассмотрения заслуживает также вопрос, могут ли невизуальные характеристики, такие как семантические или функциональные свойства, влиять на движения глаз при категориальном поиске. Некоторые авторы полагают, что самые ранние движения глаз уже обладают направленностью к цели (Becker, Pashler, Lubin, 2007; Bonitz, Gordon, 2008, Underwood et al., 2008), тогда как другие сообщают об отсутствии влияния семантической информации на движения глаз (Henderson, Weeks, Hollongworth, 1999; Vo, Henderson, 2009).

Задача категориального поиска в силу более высокого уровня своей экологичности лучше подходит для изучения сложных стимулов и категорий, которые содержат множество измерений черт (Zelinsky, 2009), а также для изучения поиска целей, заданных научными понятиями, которые будут фигурировать в эмпирической части данной работы.

Выводы по Главе 1

В данной главе был приведен краткий литературный обзор источников по темам зрительного восприятия, внимания, глазодвигательной активности, экспертизы, мышления, а также взаимодействия между ними. Анализ работ позволил выявить основные концепции и парадигмы, существующие в указанных областях. Большое количество эмпирических исследований, их разноплановость и направленность на множество более частных аспектов свидетельствуют об актуальности данных тем и многогранности изучаемых феноменов. Противоречия в используемых парадигмах и результатах исследований указывают на комплексность данных процессов, процедурные сложности их фиксации и анализа, а также трудности концептуализации наблюдаемых феноменов и их взаимовлияния.

Рассмотренные исследования, их методология, результаты и выводы, стали основой для серии собственных эмпирических исследований, посвященных анализу специфики экстрафовеального распознавания изображений, репрезентирующих математические понятия.

ГЛАВА 2. ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСТРАФОВЕАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР

В данной главе представлены описание и результаты серии эмпирических исследований, посвященных изучению особенностей глазодвигательной активности при решении поисковых задач на материале визуализированных математических понятий – геометрических фигур.

Общей целью всех исследований было определить специфику и границы экстрафовеального анализа математических объектов в задаче на поиск целевого стимула среди нескольких дистракторов. Под определением границ экстрафовеального анализа в данном случае понимается проверка того, в каких ситуациях и при какой сложности стимулов для поиска категориально заданного объекта достаточно экстрафовеального анализа, а в каких – обязательно требуется фовеальный анализ фигур. Важным аспектом экспериментов было изучение процессов, находящихся на стыке восприятия и мышления, а именно категоризации. Дополнительно в исследованиях рассматривались возможность тренировки и улучшения уровня экстрафовеальной обработки по мере набора соответствующего опыта, а также влияние уже имеющегося опыта экспертизы в релевантных сферах на уровень выполнения задачи зрительного поиска вообще и использования экстрафовеального анализа для программирования саккад в частности.

Каждое исследование имело также свои частные цели, более конкретно раскрывающие специфику изучения экстрафовеальной обработки зрительного поля. Все исследования представляют собой логически организованную серию экспериментов: в каждом последующем эксперименте, исходя из результатов предыдущего, формулировались и проверялись новые гипотезы. По мере движения от первого исследования к последнему усложнялся стимульный материал, поскольку изначально предполагалась зависимость уровня эффективности экстрафовеального распознавания от степени сложности анализируемых объектов.

Кроме того, в качестве стимулов использовались геометрические фигуры, являющиеся визуализированными формами математических понятий, поэтому можно заключить, что каждый испытуемый решал не чисто перцептивную задачу, а задачу именно категориального поиска, поскольку целевая фигура задавалась семантически и могла появиться в любом ракурсе, исключая привыкание испытуемых к конкретному изображению геометрической формы. В данном контексте, особенно для исследований с более сложными, трехмерными фигурами, важно, что понятие в сознании разных участников могло быть представлено по-разному. Это могло зависеть от уровня их знания геометрии, от образования, от частоты взаимодействия с указанными объектами и т.д. Следовательно, при решении поисковой задачи все эти факторы могли оказывать существенное влияние как на время и правильность ответа, так и – что интересует нас больше – на процесс планирования саккад по итогам предварительного экстрафовеального анализа всего зрительного поля.

Серия эмпирических исследований затрагивает проблему внимания: какие объекты и их аспекты могут быть проанализированы за счет механизмов скрытого, внутреннего внимания, на основе которого затем планируются саккады к тому или иному стимулу, а какие аспекты оказываются слишком сложными для такого анализа и потому требуют дальнейшего фовеального изучения.

Результаты исследований позволяют также изучить структуру визуализированных математических понятий, так как разного рода и разной степени сложности геометрические фигуры понимаются и воспринимаются по-разному. Логично предположить, что специфика восприятия и анализа фигур будет зависеть от нескольких факторов: как объективных, связанных с характеристиками самих стимулов, так и субъективных, связанных с (1) индивидуальным опытом участников и (2) индивидуальным стилем решения ими задач определенного типа. Важно подчеркнуть, что в данном случае экстрафовеальный анализ направлен не только на низкоуровневые перцептивные признаки фигур, но и на характеристики высокого уровня, позволяющие осуществить категориальный поиск. Тем самым мы изучали также взаимодействие нескольких уровней обработки, при котором

категоризация как операция более высокого ранга спускается к нижним уровням, на которых планируются саккады.

Попытка ответа на указанные вопросы будет дана в пяти исследованиях, в которых использовалась задача зрительного поиска на материале геометрических фигур разного уровня сложности.

2.1. Исследование 1. Особенности экстрафовеального анализа простых геометрических форм

Цели и гипотеза Исследования 1

Частной целью Исследования 1 было выявить особенности глазодвигательной активности при поиске целевого стимула среди дистракторов на материале простых геометрических форм (квадрат, круг, треугольник, крест).

Поскольку стимулы являются простыми и достаточно сильно отличающимися друг от друга, можно предположить, что для определения местоположения одного из них относительно других требуется минимальное количество фиксаций, вплоть до их полного отсутствия.

В качестве основной гипотезы исследования было выдвинуто предположение, что количество посещений секторов с фигурами, необходимое для определения местоположения целевого стимула, будет меньше, чем при последовательном просматривании всех предъявленных стимулов, либо равным нулю.

Метод

Запись движений глаз осуществлялась с помощью установки SMI RED с частотой регистрации положения взгляда 120 Гц. Запись проводилась с использованием программы iViewX, стимульный материал предъявлялся в программе Experiment Center 3.3. Экран монитора имел размеры 19 дюймов по диагонали и разрешение 1024x1280 пикселей. Глаза испытуемых находились на расстоянии 60 см от экрана. В начале эксперимента проводилась двенадцатиточечная калибровка с валидизацией, по результатам которой

испытуемые допускались к участию в основной серии. Критерием допуска выступило достижение калибровочной точности не более 0.5 градуса.

В качестве стимулов использовались простые геометрические формы: треугольник, квадрат, круг, крест (Рис. 8). Стартовая точка фиксации взгляда находилась в центре экрана. Расстояние от стартовой точки до ближайшей точки каждой из фигур составило от 4 до 6 угловых градусов; расстояние от центра до центров фигур равнялось примерно 10 градусам. Всё стимульное поле занимало площадь, равную 30х30 угловых градусов, с центром в точке фиксации.

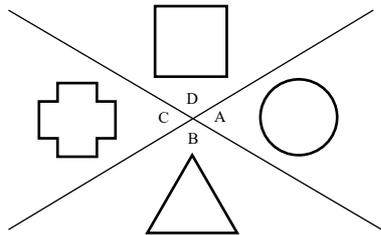


Рисунок 8. Образец стимульного слайда в Исследовании 1.

Процедура

На экране монитора испытуемому предъявлялся образец стимульного слайда и давалась общая инструкция: «Вашей задачей будет находить одну из этих фигур. Как только вы ее найдете, нажмите на пробел и назовите букву сектора, в котором она находилась». После нажатия на пробел появлялась инструкция к следующему слайду с текстом «Найдите квадрат» (или круг/треугольник). Через 0.5 секунды фиксации на центральном кресте экран сменялся изображением четырех стимульных фигур, среди которых нужно было как можно быстрее найти целевую, нажать на пробел и назвать букву сектора, в котором находилась целевая фигура (Рис. 9). Ответы испытуемых фиксировались на специальных бланках.

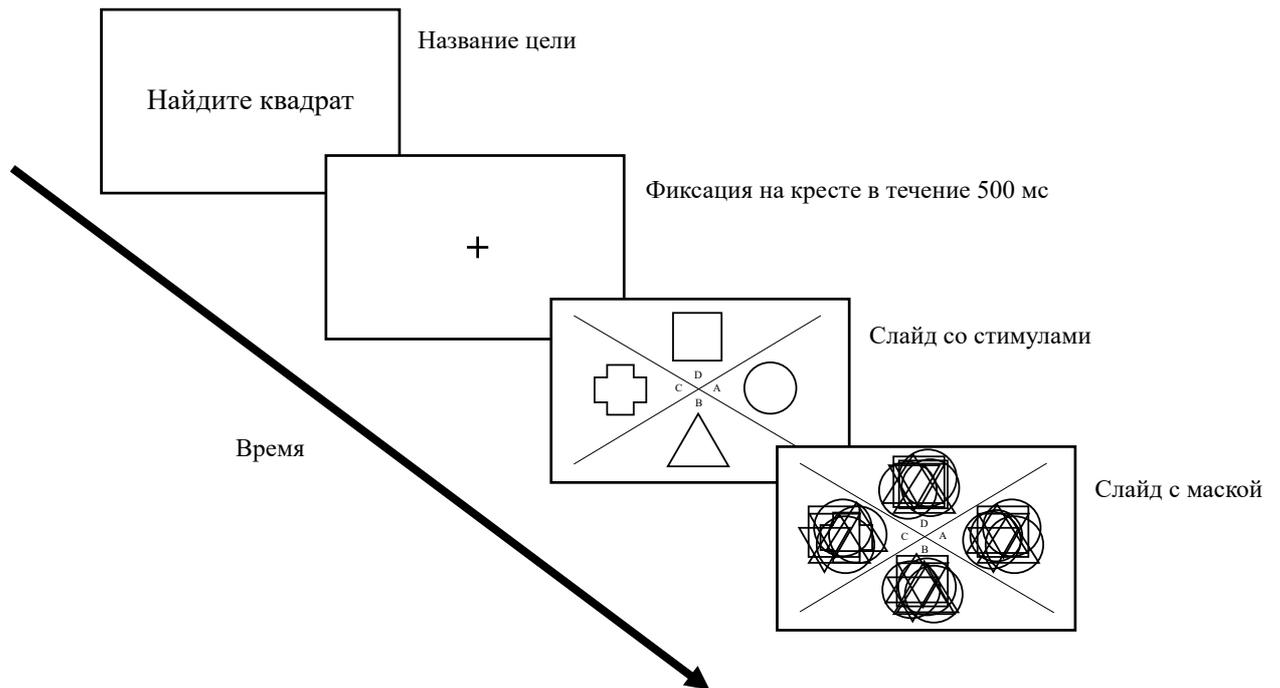


Рисунок 9. Схема пробы. В начале каждой пробы показывался текст с инструкцией, включавший название цели. После нажатия на пробел появлялся слайд с фиксационным крестом, на котором необходимо было удерживать взгляд в течение 500 мс; затем появлялся слайд со стимулами. Задачей испытуемого было найти целевую фигуру, нажать на пробел (после чего стимулы маскировались) и назвать букву сектора с целью.

Каждый испытуемый прошел 24 пробы, сгруппированных в блоки по 4 с одинаковым целевым стимулом. При этом были заданы все возможные комбинации взаимного размещения всех фигур, а целевые формы каждого вида появлялись дважды во всех позициях.

Выборка

В исследовании приняло участие 20 человек возрастом от 18 до 66 лет (8 мужчин, 12 женщин). Все испытуемые имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Обработка данных

Важно отметить, что обработка данных в этом и последующих экспериментах включала в себя анализ не только стандартных показателей –

времени и правильности ответа, но также направление первой саккады и порядковый номер посещения целевой зоны. В соответствии с тенденцией к расширению учитываемых показателей глазодвигательной активности, которая началась около 20 лет назад, в настоящее время направление первой саккады считается основным параметром для изучения управляемого зрительного поиска (Chen, Zelinsky, 2006; Schmidt, Zelinsky, 2011; Zelinsky et al., 2013). В серии наших исследований данный параметр был несколько расширен и включил в себя учет последовательности посещений зон со стимулами и порядковый номер посещения целевой зоны, поскольку эти параметры дают больше информации о степени эффективности зрительного поиска.

Для определения местоположения фиксации внутри или вне целевого сектора были выделены «зоны интереса»: «центр», «сектор А», «сектор В», «сектор С», «сектор D» (Рис. 10). Центральная зона имела размер 7x7 угловых градусов.

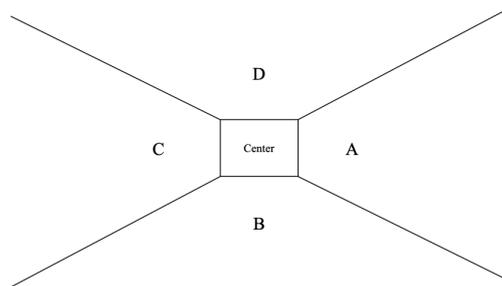


Рисунок 10. Деление стимульного слайда на зоны интереса.

С помощью программы Vegaze 3.3 учитывалась отнесенность каждой фиксации к конкретной зоне на экране и фиксировалась последовательность фиксаций взора в процессе выполнения отдельной пробы. При этом количество фиксаций в одной и той же зоне не оценивалось, а принималось за факт посещения этого сектора. То есть если испытуемый делал одну фиксацию в центре, затем две фиксации в секторе А и три фиксации в целевом секторе В, расчеты имели следующий вид: центр – сектор А – сектор В, а порядковым номером целевого сектора в последовательности поиска заданного стимула считался 2 (центр – 0,

сектор А – 1, сектор В – 2). В таком контексте несколько фиксаций в рамках одного сектора считались за одно посещение сектора.

Испытуемый мог дать верный ответ, не переводя взгляд «из центра» – от стартовой точки фиксации – то есть выполнить задачу без движений глаз и с нулевым количеством саккад из центра. Соответственно, далее учитывалось количество посещенных секторов до достижения целевого сектора – одно, два, три или четыре. Поскольку количество посещений при случайном нахождении сектора с целевой фигурой равно $(1+2+3+4)/4=2.5$, именно с этим числом сравнивалось количество посещений секторов в каждой из проб.

Перевод сырых данных, полученных из программы SMI RED, в последовательности посещенных зон проводился с помощью специально написанной программы на языке программирования Python.

Статистическая обработка данных осуществлялась в программе SPSS Statistics v. 21.

Результаты и обсуждение

Всего по 20 испытуемым было проведено 480 проб (20x24), из которых в одной пробе название верного ответа произошло после четырех посещенных секторов, в шести пробах – после двух посещений нецелевых секторов, в 29 пробах – после одного посещения нецелевого сектора, в 72 пробах первым был посещен сектор с целевой фигурой, и в 372 пробах (77.5% от общего числа проб) испытуемые смогли дать верный ответ вообще без саккад и фиксаций вне центральной области.

Стоит отметить, что даже в столь простой задаче были зафиксированы значительные межиндивидуальные различия в распределении показателя: таблица сопряженности 20x5 дает показатель χ -квадрат, равный 258 при 76 степенях свободы (Табл. 2).

Таблица 2

Распределение номера первого посещения целевой зоны в последовательности движений взора у испытуемых в Исследовании 1. Таблица сопряженности

ID испытуемого	Номер первого посещения сектора с целью (FirstT)					Итого
	0	1	2	3	4	
Al	22	1	1	0	0	24
AlRP	16	6	2	0	0	24
AK	15	4	4	1	0	24
AN	22	1	0	1	0	24
AD	24	0	0	0	0	24
D1	22	2	0	0	0	24
D2	24	0	0	0	0	24
Ek	7	6	7	4	0	24
Eu	21	3	0	0	0	24
ER	22	2	0	0	0	24
G	24	0	0	0	0	24
M	23	1	0	0	0	24
NP	21	3	0	0	0	24
NT	8	11	5	0	0	24
S	23	0	1	0	0	24
SK	22	2	0	0	0	24
T	21	3	0	0	0	24
V	3	14	6	0	1	24
VR	14	10	0	0	0	24
ZI	17	4	3	0	0	24
Итого	371	73	29	6	1	480

Например, один из испытуемых (V) лишь в трех пробах дал ответ без саккад из центральной зоны, однако более чем в половине проб ему понадобилась всего одна фиксация в целевом секторе. У двух других испытуемых одинаковое общее число ответов с одной саккады или вовсе без движений глаз, однако совершенно разная пропорция: ER дала 22 ответа без движений глаз и 2 – после единственной саккады в целевой сектор, а VR – 14 и 10 соответственно (Табл. 2). Данные факты

могут свидетельствовать о том, что анализ всех стимулов все равно проходил экстрафовеально и гипотеза о местонахождении целевого стимула возникала в первые же моменты решения задачи, однако каким-то испытуемым необходимо было перевести взгляд, чтобы проверить гипотезу и дать окончательный ответ, а какие-то участники полагались исключительно на экстрафовеальную догадку. Такой результат может свидетельствовать о роли личностных особенностей испытуемых, например, уровня тревожности, когнитивного стиля (Волкова, Гусев, 2018) в стратегии решения задач.

Выводы по Исследованию 1

Исследование 1 позволило сделать несколько важных заключений. С высокой долей вероятности можно утверждать, что в случае зрительного поиска целевого стимула на материале простых, легко различимых геометрических форм экстрафовеальный анализ зрительного поля осуществляется в большинстве проб совершенно надежно. При этом в случае единственной саккады в область целевого сектора можно говорить не только о роли низкоуровневых процессов в решении поисковой задачи, но также о личностных особенностях испытуемых и их мотивации на выполнение экспериментального задания. Иными словами, правильный ответ может быть уже виден благодаря работе низкоуровневых процессов, обеспечивающих обработку и различение простых форм, однако желание проверить и максимально точно удостовериться в правильности догадки побуждает испытуемого перевести взгляд в зону предполагаемого ответа.

Описанные результаты позволили перейти к новым гипотезам относительно механизмов экстрафовеального анализа зрительного поля, касающихся характера стимулов и возможных взаимоотношений между целевым стимулом и дистракторами.

2.2. Исследование 2. Возможности экстрафовеального распознавания планиметрических фигур

Цели и гипотезы Исследования 2

Исследование 2 имело следующие **частные цели**. Исходя из результатов Исследования 1, показавшего достаточно убедительное экстрафовеальное распознавание простых геометрических форм, было принято решение усложнить стимульные объекты друг относительно друга, то есть сделать цель и дистракторы более похожими, а также проварьировать пространственную ориентацию и расположение самих целевых фигур. Таким образом, целью этого исследования выступило выявление особенностей экстрафовеального анализа зрительного поля на материале более сложных, более похожих друг на друга геометрических форм, которые предъявлялись не только в «привычном» положении (на основании), но также и в «непривычном» (под углом).

На основе выделенных целей были выдвинуты следующие гипотезы: 1) Порядковый номер посещения зоны с целевым стимулом будет меньше, чем при случайном последовательном просматривании всех предъявленных стимулов; 2) Порядковый номер посещения зоны с целевым стимулом в условии более похожих на цель дистракторов будет больше, по сравнению с условием менее похожих на цель дистракторов; 3) Порядковый номер посещения зоны с целевым стимулом в условии непривычного положения целевого стимула будет больше, по сравнению с условием его привычного положения; а также 4) Порядковый номер посещения зоны с целевым стимулом в условии конфликта, лежащего в логической плоскости, а также общее время решения пробы, будут выше, по сравнению с условием без подобного конфликта.

Метод

Регистрация глазодвигательной активности осуществлялась таким же образом, как в Исследовании 1.

Стимульный материал имел следующие характеристики. В качестве целевой фигуры выступал либо прямоугольник, либо квадрат – это был первый из варьируемых факторов. Вторым фактором являлся характер дистракторов: четырехугольники общего вида (более простое условие) и более похожие на цель дистракторы – ромбы для квадрата и параллелограммы для прямоугольника (более сложное условие). В качестве отдельного случая были выделены пробы, в которых

испытуемому давалась инструкция найти прямоугольник при том, что целевой фигурой был квадрат. Это означает, что испытуемому необходимо было вспомнить, что квадрат также является прямоугольником и назвать букву сектора с квадратом. Третьим фактором выступила пространственная ориентация целевого стимула: был ли он размещен на основании (привычное положение – более легкое условие) или повернут под определенным углом (непривычное положение – более сложное условие). Примеры стимулов представлены на Рис. 11.

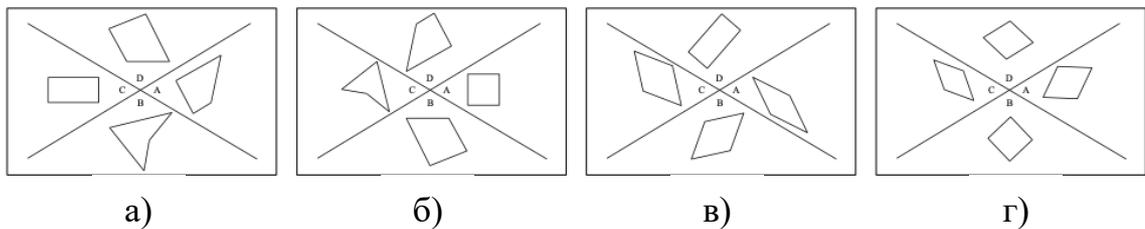


Рисунок 11. Примеры стимульных слайдов в Исследовании 2: а) прямоугольник в привычном положении (на основании) среди непохожих дистракторов (четырёхугольников общего вида), б) квадрат в привычном положении (на основании) среди непохожих дистракторов (четырёхугольников общего вида), в) прямоугольник в непривычном положении (под углом) среди похожих дистракторов (параллелограммов), г) квадрат в непривычном положении (под углом) среди похожих дистракторов (ромбов).

Стартовая точка фиксации взгляда находилась в центре экрана. Расстояние от стартовой точки до ближайшей точки каждой из фигур составило от 4 до 6 угловых градусов; расстояние от точки фиксации до центров фигур примерно равнялось 10 градусам. Всё стимульное поле занимало площадь, равную 30x30 угловых градусов, с центром в точке фиксации.

Процедура

На экране монитора появлялся текст инструкции: «Вашей задачей будет находить геометрические фигуры (квадрат, прямоугольник), указанные в инструкции. Прочитайте инструкцию, переведите взгляд на фиксационный крест.

После этого появится слайд с 4-мя фигурами, из которых Вы должны будете выбрать нужную. Как только Вы ее найдете, нажмите на пробел и назовите букву сектора, в котором она находилась. Постарайтесь выполнять задания как можно быстрее и правильнее». По нажатии на пробел предъявлялась частная инструкция к следующему слайду с текстом «Найдите прямоугольник» (или «Найдите квадрат»). Через полсекунды фиксации на центральном кресте появлялось изображение четырех стимульных фигур. Задачей испытуемого было как можно быстрее обнаружить цель, нажать на пробел и назвать букву сектора с целевой фигурой. Для контроля правильности ответы участников фиксировались на специальных бланках.

Каждый испытуемый прошел 96 проб, сгруппированных в блоки по 8 с одинаковым целевым стимулом. В каждом из блоков использовались все возможные сочетания трех факторов, каждый из которых имел два уровня; кроме того, была проведена квазирандомизация целевого сектора в каждой четверке стимулов. Порядок предъявления второй половины проб был зеркально отражен относительно порядка первой половины.

Выборка

Количество участников составило 13 человек – студентов и недавно окончивших вуз (4 мужчин, 9 женщин, возраст от 18 до 25 лет). Все испытуемые имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Обработка данных

Анализ данных включал показатели времени ответа, его правильности, общего количества посещенных секторов, а также эффективности экстрафовеального распознавания цели. Последний показатель высчитывался с помощью алгоритма, использованного в Исследовании 1. Напомним, что, поскольку в ситуации полного перебора всех предъявленных стимулов среднее количество посещенных секторов составит $(1+2+3+4)/4=2.5$, именно с этим числом проводилось сравнение среднего количества посещенных секторов у испытуемых в этом исследовании.

Результаты и обсуждение

Всего была проанализирована 1241 проба у 13 испытуемых: часть проб (0.56%) была исключена по техническим причинам (Табл. 3). Пробы испытуемого К1 были исключены из анализа в связи с относительно большим количеством ошибок (12.5%), в то время как у каждого из остальных участников количество неправильных ответов не превышало 3–4%, $SD=3.4\%$. Кроме того, абсолютное большинство ответов (85.41%) К1 дал(а) вообще без движений глаз. Это может быть объяснено тем, что этот испытуемый использовал крайне выраженную угадывающую стратегию, в связи с чем часть правильных ответов могла быть дана случайно.

Таблица 3

Распределение номера первого посещения целевой зоны в последовательности движений взора у испытуемых в Исследовании 2. Таблица сопряженности

ID испытуемого	Номер первого посещения целевого сектора					Итого
	0	1	2	3	4	
A1	77	10	5	0	3	95
A2	31	40	18	4	3	96
A3	20	37	30	6	3	96
D	61	23	9	2	1	96
G	51	33	8	3	1	96
I	31	36	22	6	0	95
K1	82	7	5	1	1	96
K2	11	63	13	9	0	96
K3	36	30	23	5	2	96
L	63	22	7	2	1	95
M1	8	28	29	18	9	92
M2	5	34	38	16	3	96
M3	8	33	33	15	7	96

Итого	484	396	240	87	34	1241
-------	-----	-----	-----	----	----	------

По итогам анализа результатов всех испытуемых (кроме К1) и всех проб, среднее значение порядкового номера посещения целевого сектора составило 1.09 (SE=0.031). При сравнении с гипотетическим средним 2.5 $t=(1.09-2.5)/0.031=-45.3$; 99%-й доверительный интервал для среднего равен (1.01; 1.17)².

Результаты анализа проб каждого испытуемого по отдельности также показывают значимое отличие среднего номера посещения целевого сектора от гипотетического среднего. Значения статистики Стьюдента варьирует от $t=-5.04$ ($p=.000002$) до -24.9 . У испытуемого К1 значение t равнялось -29 , что с высокой долей вероятности может быть объяснено постоянным угадыванием правильного ответа, осуществляемым без движений глаз. Как уже было указано, результаты данного участника были исключены из расчетов средних показателей.

Анализ таблицы распределения номера целевой зоны в последовательности движений глаз (Табл. 3) показывает, что 484 пробы из 1241 (39%) были выполнены без движений глаз из центральной области. Это означает, что в ряде случаев задача зрительного поиска достаточно легко может быть решена на основе исключительно экстрафовеального анализа зрительного поля. Большой интерес, однако, представляет изучение индивидуальных вариаций такой способности.

Таблица 3 демонстрирует, что способность к экстрафовеальному распознаванию, а также стратегия его использования испытуемыми значительным образом варьирует: значение χ^2 для таблицы сопряженности составляет около 500, $df=48$.

Испытуемые М1, М2 и М3 выполнили относительно мало проб без перевода взгляда из центра, мода распределений равна двум. Участник К1, напротив, в большинстве проб (82 из 96) дал ответ без саккад за пределы центральной зоны. Та же тенденция наблюдается по испытуемым А1, D и L, которые дали ответ без движений глаз более, чем в половине проб, то есть мода их распределений равна

² Мы приводим этот результат только для ориентировки. Вычислять доверительный интервал таким способом некорректно.

нулю. При этом количество ошибок у этих трех испытуемых крайне невелико: 3, 3 и 1 соответственно.

Данное исследование было направлено главным образом на то, какие факторы способны затруднять экстрафовеальный анализ и обуславливать вынужденный перевод взгляда на изучаемые стимулы. В эксперименте использовалось 12 сочетаний цели и дистракторов, по четыре с каждым из целевых стимулов: прямоугольник, квадрат и квадрат, заданный инструкцией как «прямоугольник». Вторым фактором была пространственная ориентация стимулов – на основании или под углом. Третьим фактором был характер дистракторов: более похожие на цель (ромбы для квадрата и параллелограммы для прямоугольника) и менее похожие на цель четырехугольники общего вида (Рис. 12).

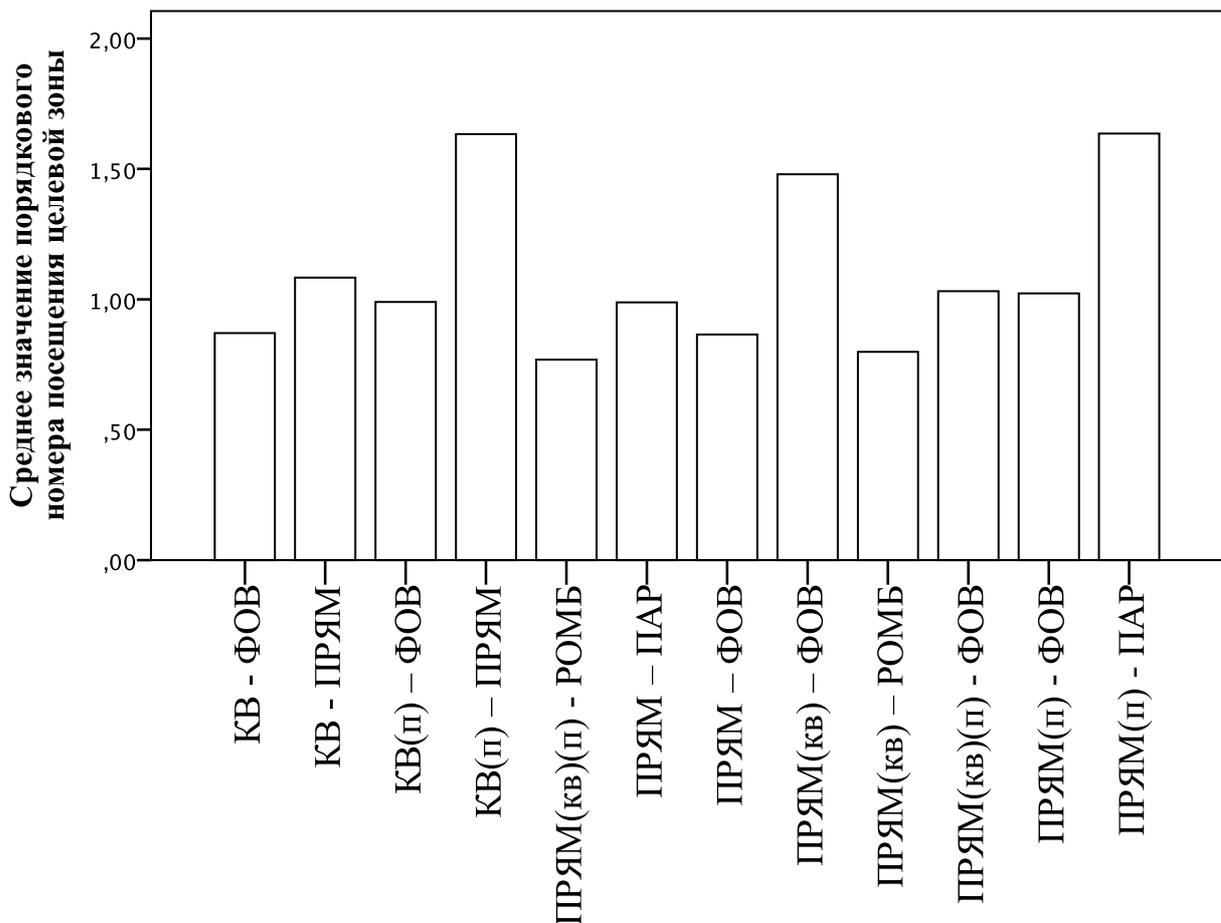


Рисунок 12. Среднее значение для номера посещения целевого сектора по разным экспериментальным условиям. Обозначения: На первом месте указан

целевой стимул (КВ – квадрат, ПРЯМ – прямоугольник, ПРЯМ(кв) – цель названа прямоугольником, а предъявляется квадрат); добавление (п) означает, что цель и дистракторы повернуты (т.е. отсутствуют параллельные осям стороны); после дефиса – дистрактор (ФОВ – фигура общего вида: четырехугольник с неравными углами и сторонами, ПРЯМ – прямоугольник, ПАР – параллелограмм, РОМБ – ромб).

Был проведен трехфакторный дисперсионный анализ средних индивидуальных значений с повторными измерениями и факторами «Целевой стимул», «Пространственная ориентация» и «Характер дистракторов». Зависимость порядкового номера посещения целевой зоны от последних двух факторов приведена на Рис. 13 (гипотеза сферичности может быть принята на основании теста Моучи).

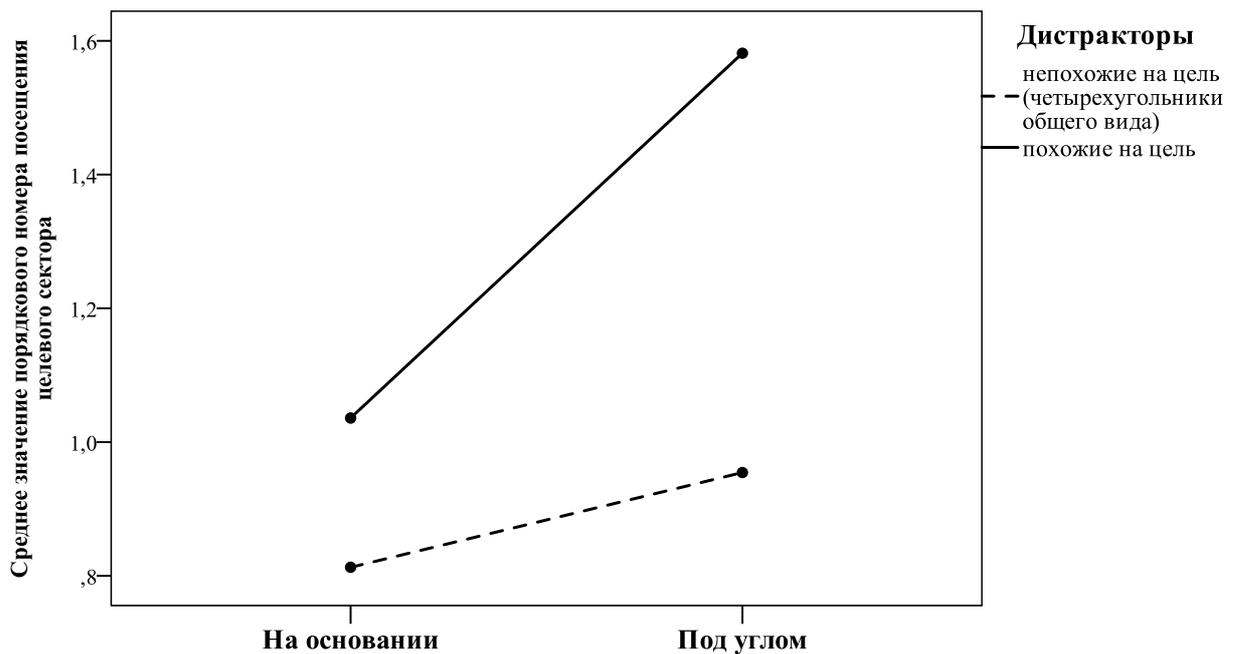


Рисунок 13. Зависимость переменной «Порядковый номер первого посещения целевого сектора» от фактора схожести дистракторов с целью и фактора пространственной ориентации стимулов.

В частности, в условии «непривычного», нестандартного положения всех представленных объектов увеличивалось количество посещенных зон, по сравнению с условием «привычного» положения фигур на их основаниях. Зависимость от фактора пространственной ориентации в среднем по испытуемым характеризуется значением $F(1, 11)=45.1$, $p=.00003$. Влияние фактора наклона фигуры достаточно ожидаемо: опыт большинства людей в отношении визуализированных форм геометрических фигур довольно схож, поскольку в учебных материалах и задачах они, как правило, имеют одно и то же пространственное расположение, а именно – на основании.

То же можно сказать о сравнении условий похожих на цель дистракторов и четырехугольников общего вида, которые отличались от цели достаточно сильно. По этому фактору наблюдаются значимые различия: $F(1, 11)=38.5$, $p=.00007$. Взаимодействие двух указанных факторов при этом относительно небольшое: $F(1, 11)=10.6$, $p<.008$ (Рис. 13).

Влияние фактора «Целевой стимул», как видно из Рис. 13, совсем незначительное.

Аналогичные тенденции характерны для изменений времени ответа под влиянием факторов сходства дистракторов с целью и пространственного положения фигур, хотя по этому параметру конфигурации значений по фактору целевого стимула различаются (Рис. 14).

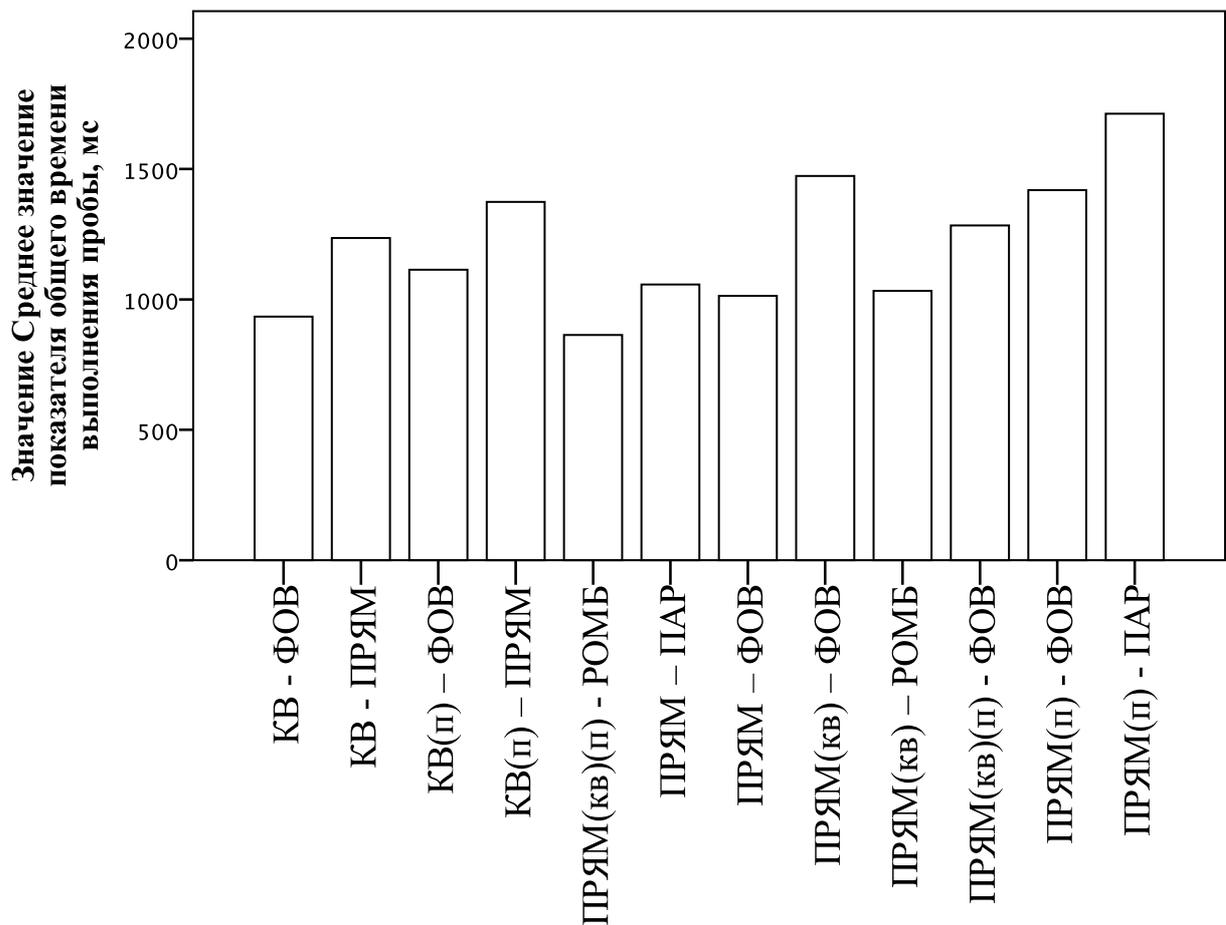


Рисунок 14. Среднее значение для времени ответа по разным экспериментальным условиям. Обозначения: На первом месте указан целевой стимул (КВ – квадрат, ПРЯМ – прямоугольник, ПРЯМ(кв) – цель названа прямоугольником, а предъявляется квадрат); добавление (п) означает, что цель и дистракторы повернуты (т.е. отсутствуют параллельные осям стороны); после дефиса – дистрактор (ФОВ – фигура общего вида: четырехугольник с неравными углами и сторонами, ПРЯМ – прямоугольник, ПАР – параллелограмм, РОМБ – ромб).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показывают тенденции, сходные с теми, которые были обнаружены по параметру порядкового номера первого посещения целевой зоны. Зависимость времени ответа от фактора пространственной ориентации характеризуется значением $F(1, 11)=134$, $p<.00001$, от фактора дистрактора – $F(1, 11)=219$, $p<.00001$ (Рис. 15). Аналогично

предыдущему случаю, взаимодействие факторов дистрактора и пространственного положения в данном случае невелико: $F(1, 11)=9.96, p=.008$.

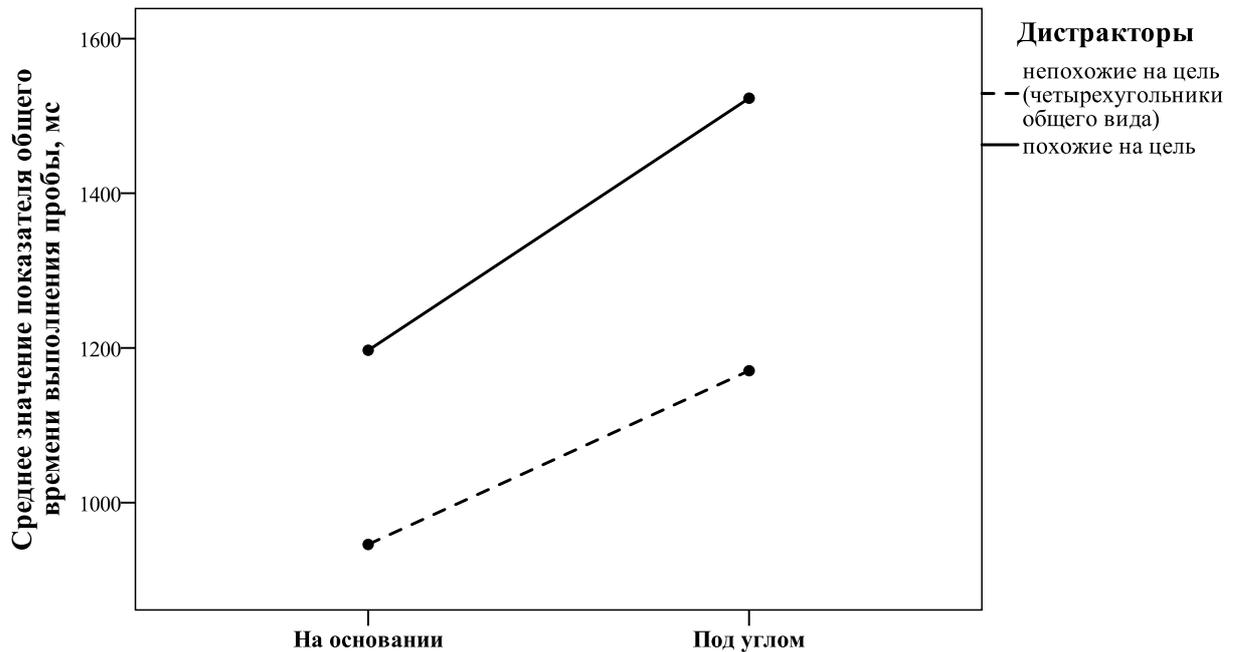


Рисунок 15. Зависимость переменной времени ответа от фактора схожести дистракторов с целью и фактора пространственной ориентации стимулов.

Кроме того, было обнаружено влияние характера целевого стимула на порядковый номер первого посещения целевого сектора и время ответа: наиболее простым условием является целевой прямоугольник, а наиболее сложным – квадрат как прямоугольник (Рис. 16). Напомним, что в ряде проб целевой фигурой объявлялся прямоугольник, а на слайде в окружении дистракторов предъявлялся квадрат: такое условие задавало конфликт, лежащий в логической плоскости. Когда участники впервые сталкивались с такой задачей, они демонстрировали определенное замешательство; время ответа существенно увеличивалось, однако в итоге все испытуемые решали задачу верно.

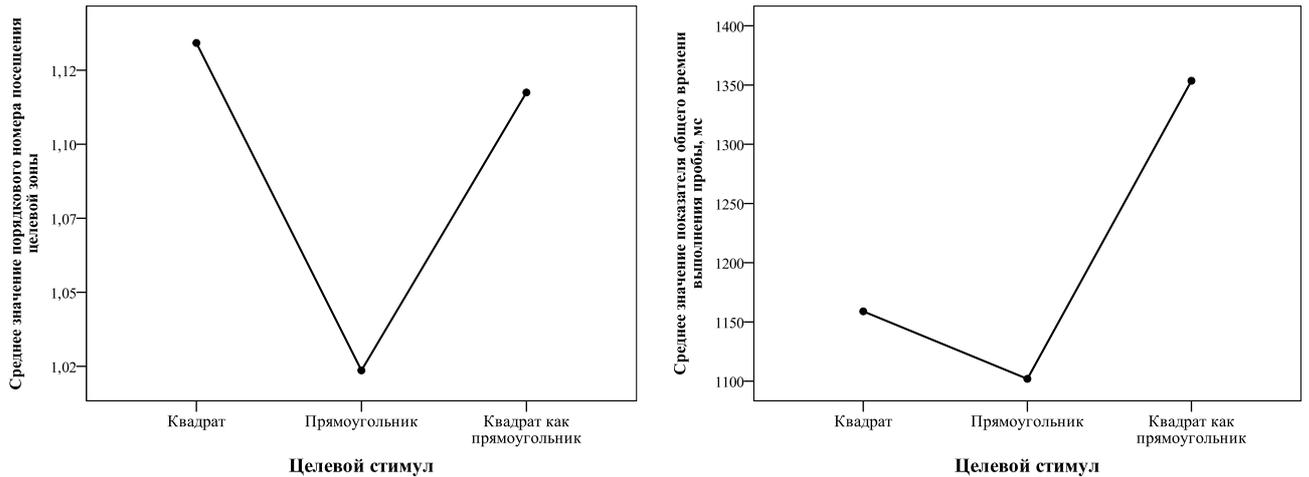


Рисунок 16. Графики средних значений порядкового номера первого посещения целевого сектора (слева) и времени ответа (справа) в зависимости от фактора «Целевой стимул».

Однофакторный дисперсионный анализ показывает, что время ответа для последнего типа задач существенно превышает показатели по двум первым: $F(1, 11)=14.9$, $p<.003$. По переменной «Порядковый номер посещения целевого сектора» таких ярких различий между первым и третьим типом целевого стимула нет: $F(1, 11)<1$, $p=.308$. Большое время ответа при практически таком же количестве посещенных секторов может говорить о том, что задача идентификации квадрата как прямоугольника вызывает трудности логического плана, но, тем не менее, может быть решена без дополнительных посещений секторов.

Такой результат согласуется с исследованиями Э. Рош, затрагивающими модель прототипов. С точки зрения данной модели, в каждой категориальной области существует прототип – стимул, занимающий наиболее заметное место и упоминаемый большинством людей в первую очередь при вопросе о данной категории (Rosch, 1973). Позже Э. Рош называла прототипом наиболее центральный, узловый представитель категории.

Феномен прототипа применительно к геометрическим формам был также показан в исследовании Hershkowitz (1989), которая обнаружила, что школьники

гораздо лучше узнают и чаще рисуют геометрические фигуры в конкретном положении.

В нашем исследовании отчетливо видна реакция на квадрат как на «нетипичного» представителя категории «прямоугольники». Интересно, что по мере увеличения числа проб с таким целевым стимулом в условии «соревнования понятий» подобных трудностей становилось всё меньше, и на эффективность выполнения задач этого типа больше влияли первые два фактора (Shvarts, 2019).

В целом, результаты эксперимента согласуются с многочисленными исследованиями, показавшими влияние фактора дистрактора (Chun, Potter, 1995; Alexander, Zelinsky, 2011, 2012; Reingold, Glaholt, 2014; Tollner, Conci, Muller, 2015 и мн. др.) К примеру, в исследовании Reingold и Glaholt (2014) было показано, что экстрафовеальное различие более похожих и менее похожих на цель дистракторов требует лишь 24-58 мс. Настолько короткое время обработки свидетельствует о том, что экстрафовеальный анализ играет основную роль в процессе программирования саккад (с. 629).

Как в предыдущем, в данном исследовании были обнаружены значительные межиндивидуальные различия, оказывающие влияние на специфику процесса перцептивной обработки и решения поставленных задач. Взаимосвязь процессов экстрафовеальной обработки поля и межиндивидуальных различий была показана и в других исследованиях (Gandini, Lemaire, Dufau, 2008; Fromer et al., 2015; Волкова, Гусев, 2018). Субъективные факторы, такие как мотивация, личностные особенности, ситуационные аспекты, могли способствовать выработке и модификации тех или иных стратегий решения. Эти стратегии варьировали от максимально «осторожной», когда каждая экстрафовеальная гипотеза затем проверялась в фовеа, до полностью «уверенной», «экстрафовеальной», при которой ответ давался на основе лишь предварительной, экстрафовеальной догадки.

В контексте наших исследований тот факт, что в ряде проб саккады вообще не использовались, говорит о том, что в этих относительно простых случаях весь предварительный анализ происходит без привлечения явного (overt) внимания посредством только скрытого (covert). В более сложных случаях, когда фигуры

имеют нестандартную пространственную ориентацию и/или высокую степень сходства друг с другом, скрытого внимания становится недостаточно и требуется перевод наиболее релевантных объектов в фовеальную область. Это означает включение явного внимания в процессы перцептивной обработки поля.

Выводы по Исследованию 2

Исследование 2 показало, что на скорость и эффективность экстрафовеального распознавания стимулов значительным образом влияет привычность положения фигур в пространстве, а также степень отличия целевой фигуры от дистракторов (Дренёва и др., 2017). Для нас важно то, что уровень сложности фигур, а значит, стоящих за ними понятий, был достаточно простым для того, чтобы в существенной части проб успешно использовать экстрафовеальный анализ объектов, и на основе его результатов планировать саккаду в сектор с целевой фигурой (Krichevets et al., 2017; Chumachenko et al., 2017, Dreneva et al., 2017). Результаты свидетельствуют также о параллельной обработке всего зрительного поля.

В следующем исследовании стимулы были усложнены с целью проверки границ экстрафовеального распознавания: насколько сложными должны быть объекты, чтобы в большинстве случаев требовать фовеальной обработки.

2.3. Исследование 3. Особенности экстрафовеального распознавания трехмерных фигур (пирамид и призм)

Цели и гипотезы Исследования 3

Исследование 3 имело следующие **частные цели**. Результаты двух предыдущих исследований выявили, что с помощью экстрафовеального анализа возможно распознавать как простые геометрические формы, так и более сложные. Успешность зрительного поиска данного типа определяется характером не только самих стимулов, но также их соотношением друг с другом, углом наклона и т.д. Поскольку достаточно большая часть проб была выполнена без движений глаз,

можно говорить о том, что такие планиметрические фигуры, как квадрат и прямоугольник, распознаются экстрафовеально довольно легко.

Однако это может быть объяснено спецификой самих стимулов: они достаточно просты. Кроме того, в реальности люди редко сталкиваются с двухмерными объектами; как правило, человек взаимодействует с объектами объемными, трехмерными. В связи с этим, возникают вопросы о том, в какой степени возможен экстрафовеальный анализ трехмерных изображений и какие факторы могут облегчить или затруднить этот вид анализа.

Целью данного исследования было выявление особенностей экстрафовеального анализа зрительного поля на материале трехмерных фигур с варьированием факторов сходства дистракторов, пространственной ориентации стимулов, наличия тени и расположения на экране.

В качестве гипотез исследования выступили следующие предположения: 1) Количество посещений зон со стимулами, необходимое для определения местоположения цели, будет меньше, по сравнению с ситуацией последовательного просматривания всех предъявленных стимулов; 2) Порядковый номер зоны с целевым стимулом в условии дистракторов того же типа будет больше, по сравнению с условием дистракторов другого типа; 3) Порядковый номер зоны с целевым стимулом в условии более схематичных фигур будет больше, по сравнению с условием более реалистичных фигур.

Метод

Регистрация глазодвигательной активности осуществлялась таким же образом, как в Исследованиях 1 и 2. Процедура и параметры предъявления стимулов были также идентичными. Текст инструкции был следующим: «Вашей задачей будет находить стереометрические фигуры (четырёх- и пятиугольные призмы, четырёх- и пятиугольные пирамиды), указанные в инструкции. Прочитав инструкцию, переведите взгляд на фиксационный крест. После этого появится слайд с 4-мя фигурами, из которых Вы должны будете выбрать нужную. Как только Вы ее найдете, нажмите на пробел и назовите букву сектора, в котором она находилась. Постарайтесь выполнять задания как можно быстрее и правильнее».

Перед каждым слайдом со стимулами возникало напоминание с названием целевой фигуры.

Стимульный материал имел следующие характеристики. В качестве целевых фигур выступили 4-угольная пирамида, 5-угольная пирамида, 4-угольная призма и 5-угольная призма. Все фигуры были правильными, то есть имели в основании правильные многоугольники с равными сторонами. Тип целевой фигуры – пирамида или призма – был первым варьируемым фактором. Вторым фактором выступило количество углов у целевой фигуры – четыре или пять. Третьим фактором являлся характер дистракторов: либо дистракторы того же типа, что и целевой стимул, то есть целевая пирамида предьявлялась среди пирамид, а целевая призма – среди призм (более сложное условие); либо дистракторы другого типа, то есть целевая пирамида предьявлялась среди призм, а целевая призма – среди пирамид (более простое условие). Отметим, что в каждой пробе на слайде были представлены 4 фигуры: 3-угольная, 4-угольная, 5-угольная и 6-угольная (Рис. 17). Фигуры моделировались с помощью специально написанной программы на языке Matlab. Четвертым фактором было наличие тени: более реалистичные изображения фигур, либо схематичные. Пятым фактором было наличие поворота фигур: расположение либо на основании, либо под углом. Наконец, шестым фактором выступило расположение целевой фигуры в одном из секторов (А, В, С, D), которое выбиралось квазислучайно для каждого восьми стимулов.

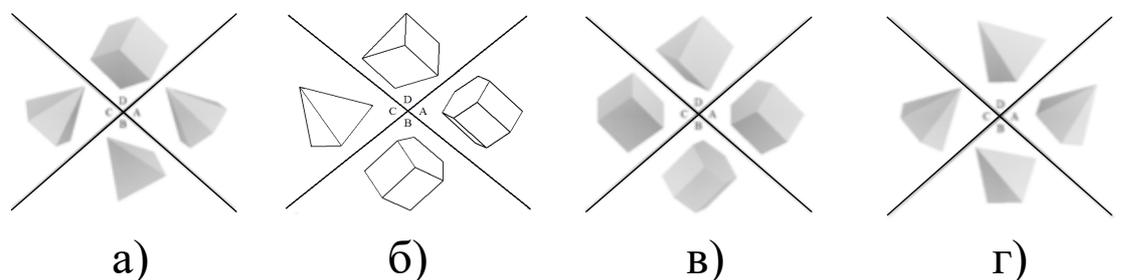


Рисунок 17. Примеры стимульных слайдов в Исследовании 3: а) Целевая 4-угольная пирамида среди пирамид-дистракторов (более реалистичные изображения фигур), б) Целевая 4-угольная пирамида среди призм-дистракторов (более схематичные изображения фигур), в) Целевая 5-угольная пирамида среди призм-

дистракторов (более реалистичные изображения фигур), г) Целевая 5-угольная пирамида среди пирамид (более реалистичные изображения фигур).

Каждый испытуемый прошел 128 проб, сгруппированных в блоки по 8 с одинаковым целевым стимулом. Эксперимент состоял из двух частей по 64 пробы с 10-минутным перерывом между ними. Перед второй частью проводилась повторная процедура калибровки.

Выборка

В исследовании приняло участие 12 человек – студентов и недавно окончивших вуз (4 мужчин, 8 женщин возрастом от 19 до 27 лет). Все испытуемые имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Обработка данных

Анализировались те же показатели, что и в предыдущих исследованиях: время ответа, его правильность, количество посещенных секторов с фигурами, а также эффективность экстрафовеального распознавания цели.

По расчетам, приводившимся ранее, ожидаемое среднее количество посещенных секторов (напомним, что фиксации в рамках одной зоны считались за одно посещение) до целевой зоны в ситуации полного перебора составило 2.5 – с этим числом проводилось сравнение среднего количества посещенных секторов у испытуемых в этом исследовании. Данный показатель отражен в переменной FirstT (the FIRST visiting of a Target).

В этом исследовании, как и в предыдущем, наблюдался значительный разброс индивидуальных показателей, демонстрирующий сильное влияние межиндивидуальных различий. В связи с этим, можно считать обоснованным выбор экспериментального дизайна, при котором размер выборки остается небольшим, но каждый из испытуемых проходит достаточно большое количество проб. Такой дизайн позволяет выявить устойчивые статистические тенденции при относительно малой выборке (один-два десятка человек). Важно, что при обработке данных проводилась как статистическая оценка индивидуальных тенденций, так и корректный их анализ в рамках множественных сравнений и

других процедур. В целях решения этой задачи использовался специальный критерий, который будет кратко описан далее.

Метакритерий распределения значимостей (Candes, 2018). Предположим, что существует некоторый показатель X , которым мы обозначим использование одной или нескольких стратегий каждым из испытуемых. К примеру, к такой стратегии может быть отнесен предварительный экстрафовеальный анализ зрительного поля, влияющий на планирование первой саккады. Такой стратегии могут противостоять направление саккад в случайную зону и последующее поочередное просматривание остальных зон либо посещение всех зон в одном и том же порядке во всех пробах.

С учетом того, что каждый испытуемый проходит больше сотни проб, по их результатам можно сделать вывод о том, насколько сильно показатель X у конкретного испытуемого отличается от значения, характеризующего случайный выбор направления саккады. В этом контексте еще раз подчеркнем, что длина серии проб обеспечивает достаточно надежное подтверждение устойчивости той или иной стратегии.

Для анализа ситуации в среднем по выборке можно проанализировать средний показатель X относительно случайного (X_0). Однако в этом случае разброс, связанный с различием стратегий, будет подвержен влиянию не количества проб, а количества испытуемых. Следовательно, анализ выборки в среднем, с одной стороны, является определенным упрощением ситуации, но, с другой стороны, требует выборки большого размера для надежной статистической оценки наличия феномена.

В данном случае нами использовался метакритерий, позволяющий проверить гипотезу в общем по выборке (то есть зафиксировать сдвиг показателя в выборке в сторону, соответствующую наличию экстрафовеального восприятия стимулов) и не упустить возможность надежно зафиксировать наличие явных успешных индивидуальных стратегий отдельных индивидуумов, использующих экстрафовеальный анализ. Мы сравниваем индивидуальный показатель X в среднем по всем пробам по одновыборочному t -критерию с показателем X_0 ,

соответствующим гипотезе H_0 о случайном выборе направления саккад конкретным испытуемым.

В нашем случае мы оцениваем показатель FirstT, меньшие значения которого говорят в пользу использования экстрафовеального анализа. Если принять, что гипотеза H_0 верна, индивидуальная значимость как случайная величина будет равномерно распределена на отрезке (0, 1). Это справедливо для односторонней значимости, учитывающей направление сдвига (то есть значимостью мы здесь называем вероятность получить данный результат FirstT или меньший) и измеряемую «весом» левого хвоста распределения. В случае наличия только двухсторонней значимости, ее необходимо пересчитывать в одностороннюю с учетом направления. Иными словами, участники, у которых наблюдается отчетливая тенденция к использованию экстрафовеального анализа, будут иметь меньшее значение показателя, и (индивидуальную) значимость, близкую к нулю. У испытуемых, использующих случайный просмотр стимулов (стратегия, соответствующая H_0), значимость будет иметь равномерное распределение.

Следовательно, для того чтобы отвергнуть общую нулевую гипотезу для всей выборки*, необходимо проверить соответствие набора индивидуальных значимостей равномерному распределению. В нашем случае это можно сделать с помощью, например, критерия Колмогорова–Смирнова. В такой ситуации даже небольшое число испытуемых обеспечивает надежные статистические выводы о процессах по выборке в общем. Использование графического отображения значимостей позволяет наглядно продемонстрировать различия в индивидуальных стратегиях.

Расчет статистики Колмогорова–Смирнова производится в данном случае следующим образом. Если выборочное значение с порядковым номером i (при упорядочении их по возрастанию) равно p при объеме выборки n , то значение

*Мы различаем оценку «в общем» и оценку «в среднем». Гипотеза H_0 «в общем» отвергается, если отклоняется гипотеза о равномерном распределении значимостей. Это может быть как небольшой сдвиг у всех испытуемых, так и существенный сдвиг у нескольких. В отличие от оценки «в среднем», большой разброс индивидуальных данных не ухудшает результат. В отличие от поправки на множественные сравнения Бонферрони или Холма, не требуется даже, чтобы значимость хотя бы одного человека выдерживала эту поправку.

модуля разности теоретической и эмпирической функций распределения при тенденции сдвига эмпирической функции распределения относительно теоретической влево равно $|i/n - p|$, при сдвиге вправо $|(i - 1)/n - p|$ (Рис. 18).

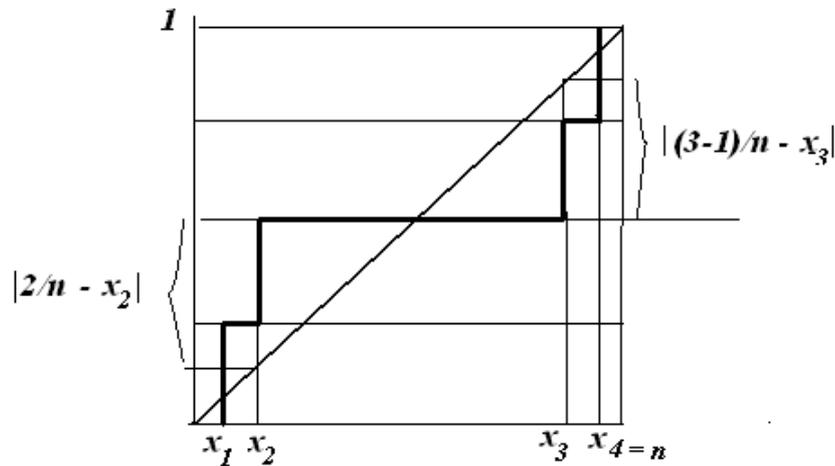


Рисунок 18. Расчет значения разности эмпирической и теоретической функций распределения для нашего критерия в случаях сдвига эмпирической функции распределения влево и вправо

Итогом является получение D -статистики Колмогорова, являющей собой максимум разности по всем i при n степенях свободы. Указанным способом далее будет рассчитываться статистика распределения значимостей.

Схема анализа данных в каждом из условий Исследования 3 была следующей. Вначале по каждому испытуемому совокупность значений FirstT по пробам соответствующего условия (например, целевой призмы среди пирамид-дистракторов) сравнивалась с критическим значением 2.5 с помощью одновыборочного t -критерия. Итогом этого вычисления становились значения t -статистики и ее значимости (p -значения) по каждому испытуемому. Далее при помощи одновыборочного t -критерия с 2.5 сравнивалась совокупность средних FirstT по испытуемым и вычислялись значения t -статистики и ее значимости в среднем по выборке. Затем значимости t -статистики по всем испытуемым сравнивались с теоретической функцией равномерного распределения при помощи критерия Колмогорова-Смирнова, в результате чего получалось значение метакритерия распределения значимостей D , а также его значимость.

Результаты и обсуждение

В связи с тем, что в качестве основных варьируемых факторов выступили тип целевой фигуры и характер дистракторов, нами были проанализированы четыре варианта их сочетания. Далее результаты по ним будут приведены порядке от наиболее простого до наиболее сложного.

Из статистического анализа были удалены пробы одного из испытуемых (поскольку они были ошибочными в 40% случаев), а также пробы (0.5%), в которых не было сделано ни одной саккады в сектор с целевым стимулом при том, что саккады в другие зоны совершались. Такая ситуация может быть объяснена несколькими причинами. Во-первых, испытуемый мог принять за эталон неверную фигуру, а целевая как правильный вариант им даже не рассматривалась. Во-вторых, участник мог забыть какая фигура является целевой в данной пробе. Наконец, могла возникнуть чисто техническая ошибка, по которой саккада в целевую зону была совершена, однако определена программой как направленная в соседний сектор. Кроме того, мы исключили данные по двум респондентам из условий с целевой пирамидой среди призм и с целевой пирамидой среди пирамид, а также данные по одному респонденту из условия с целевой призмой среди призм, по причине довольно большого количества неверных ответов (более двух стандартных отклонений от среднего по всей выборке).

Таким образом, по одному из условий проанализированы данные 12 человек, по еще одному – 11 человек и по двум оставшимся – 10 человек. Суммарно было обработано 1535 проб.

Вариант 1. Целевая призма среди пирамид (Рис. 17а)

Такой вариант сочетания является самым простым в силу очевидных различий между целью и дистракторами. Разброс средних значений показателя FirstT по субъектам меняется от 0.97 ($t(31)=12.9$, $p<.00001$) до 1.91 ($t(31)=3.8$, $p=.001$). Усредненное значение средних FirstT по субъектам составило 1.44 ($t(11)=11.17$, $p<.00001$). Все участники демонстрируют способность использовать экстрафовеальный анализ зрительного поля. Это выражается в том, что более чем в половине проб первая саккада направлена к целевой фигуре или же саккады

вообще не совершаются. Среднее FirstT у всех участников значимо меньше 2.5 (Рис. 19, слева), а значимости t-статистики не превышают .001 (Рис. 19, справа). Анализ правильности ответов выявил, что лишь один ответ одного из испытуемых был неверным.

Статистика распределения значимостей показывает значение $D(12)=.99$, $p<.00001$ при абсолютно тривиальном графике (Рис. 19, справа): визуализация метакритерия показывает, что все р-значения (обозначаемые кружками) t-статистики различий между индивидуальными средними FirstT и 2.5 расположены около нуля. В скобках после параметра D здесь и далее приводится число степеней свободы.

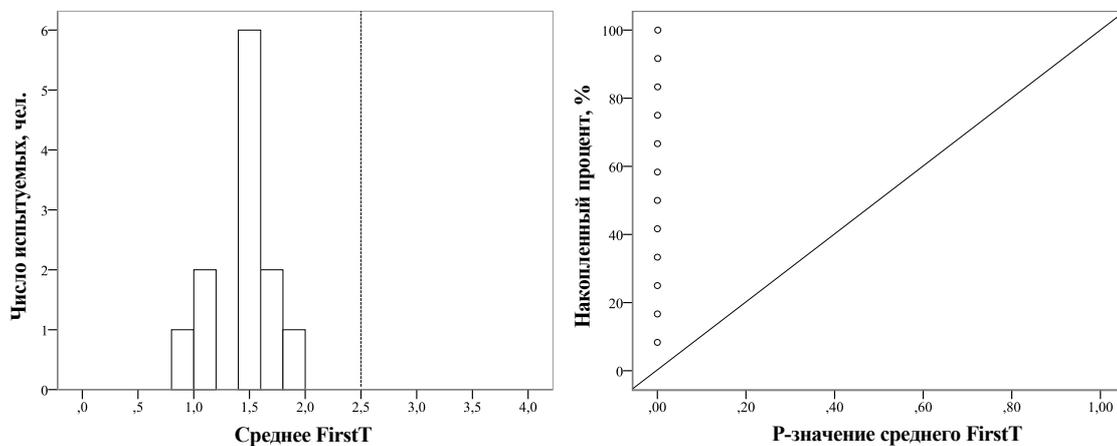


Рисунок 19. Распределение индивидуальных средних FirstT по всем испытуемым (слева) и кумулятивное распределение р-значений t-теста различий между средним FirstT и 2.5 по каждому испытуемому (справа) в условии целевой призмы среди пирамид.

Анализ влияния фактора обучения обнаружил разнонаправленность тенденций у разных испытуемых. Так, коэффициент корреляции Пирсона с номером пробы демонстрирует возрастание значения FirstT у двух участников и его убывание у остальных испытуемых. Статистика распределения значимостей при этом следующая: $D(12)=.345$, $p=.1$. В данном случае стоит, однако, отметить, невозможность точного расчета значимости корреляций, поскольку количество возможных значений переменной FirstT слишком мало, а вариация номера

предъявления стимула, напротив, слишком велика. Эта проблема едва ли может быть решена, поэтому следует с осторожностью отнестись к данным по динамике FirstT, в отличие от результатов по его средним значениям.

Вариант 2. Целевая пирамида среди призм (Рис. 17б)

По аналогии с предыдущим вариантом сочетания, данная комбинация также является достаточно простой для решения, так как цель отличается от дистракторов довольно сильно. Несмотря на это, двое испытуемых совершили большое количество ошибок (почти в половине проб), в связи с чем их результаты в общем анализе не учитывались.

Значения средних FirstT по участникам варьировали от 1.38 ($t(31)=8.9$, $p<.00001$) до 2.24 ($t(31)=1.46$) (Рис. 20, слева), а усредненное значение составило 1.76 ($t(9)=9$, $p<.00001$). Статистика распределения значимостей показывает $D(10)=.92$, $p<.000001$ (Рис. 20, справа).

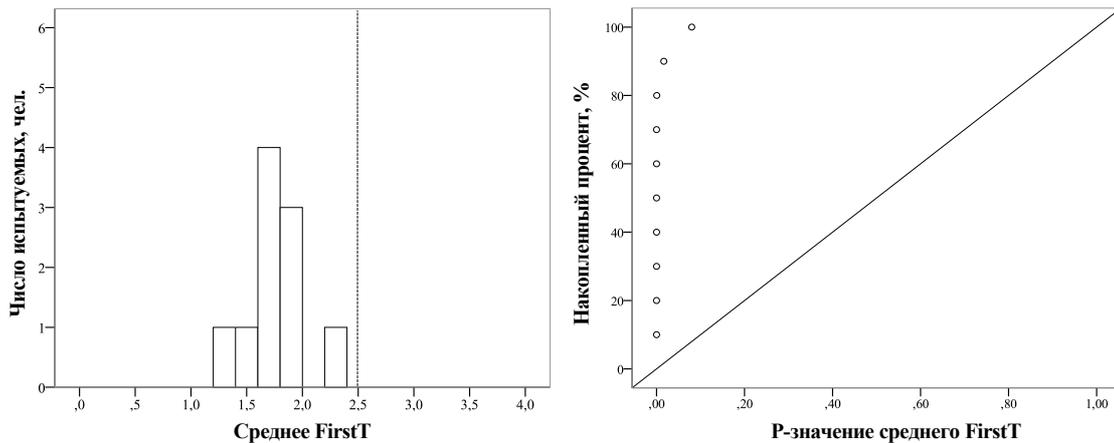


Рисунок 20. Распределение индивидуальных средних FirstT по всем испытуемым (слева) и кумулятивное распределение p-значений t-теста различий между средним FirstT и 2.5 по каждому испытуемому (справа) в условии целевой пирамиды среди призм.

Динамика изменения данного показателя вновь носит разнонаправленный характер: трое участников демонстрируют его увеличение на протяжении эксперимента, при этом у одного из них значимость корреляции составляет .04; у остальных наблюдается убывание показателя, при этом у одного из них корреляция

значима на уровне .015. Распределение значимостей по группе равняется $D(10)=.242$, p близко к единице (Рис. 21).

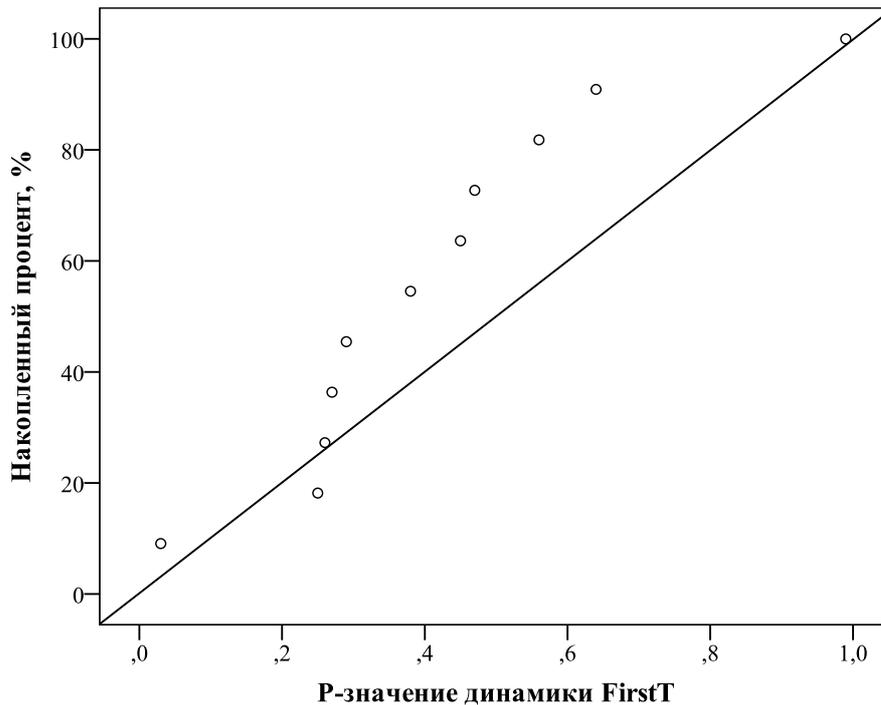


Рисунок 21. Динамика распределения значимостей по группе в условии целевой пирамиды среди призм.

В среднем в процессе эксперимента время выполнения пробы сокращается на 2 сек, но у некоторых испытуемых наблюдается и увеличение времени выполнения задания.

Анализ 95%-х доверительных интервалов (ДИ) средних FirstT по каждому из испытуемых показывает, что, скорее всего, практически все участники успешно использовали экстрафовеальную обработку, поскольку границы их ДИ не включают 2.5 (Рис. 22). Доверительный интервал только одного из испытуемых – П – включает это критическое значение, в связи с чем представляется интересным рассмотреть этот случай в сравнении с полностью противоположным случаем участника V, у которого отмечалась наиболее «экстрафовеальная» стратегия.

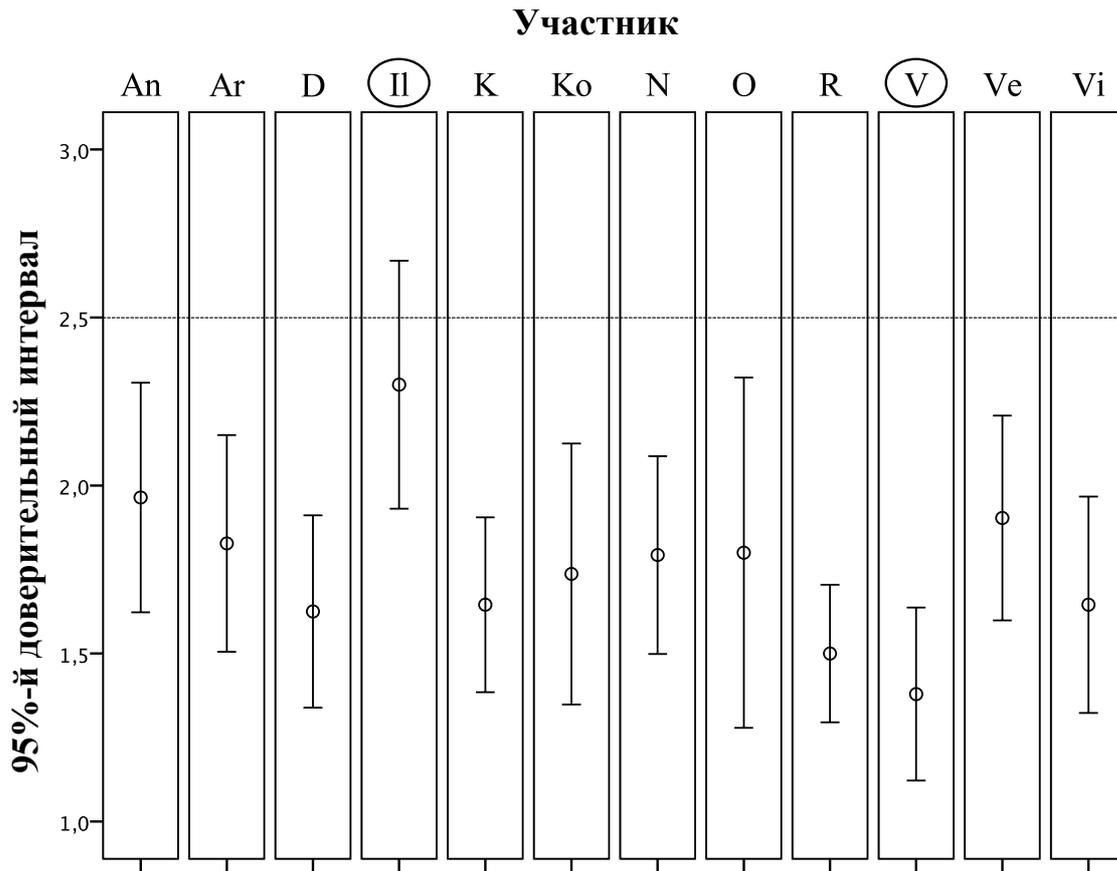


Рисунок 22. 95%-е доверительные интервалы средних FirstT всех испытуемых в условии «целевая пирамида среди призм». Результаты участников II и V (отмечены кругами) были выбраны для дальнейшего анализа.

Даже в этом достаточно простом условии можно наблюдать два совершенно противоположных случая на примере результатов участников II и V: среднее FirstT испытуемого V равнялось 1.38, а мода распределения FirstT – 1 (Рис. 23, слева), в то время как у испытуемого II аналогичные значения показателей составили 2.24 и 2 соответственно (Рис. 23, справа). Эти данные показывают, что если у V первым практически всегда посещался целевой сектор, то у II целевой сектор мог быть посещен первым, вторым, третьим или даже четвертым.

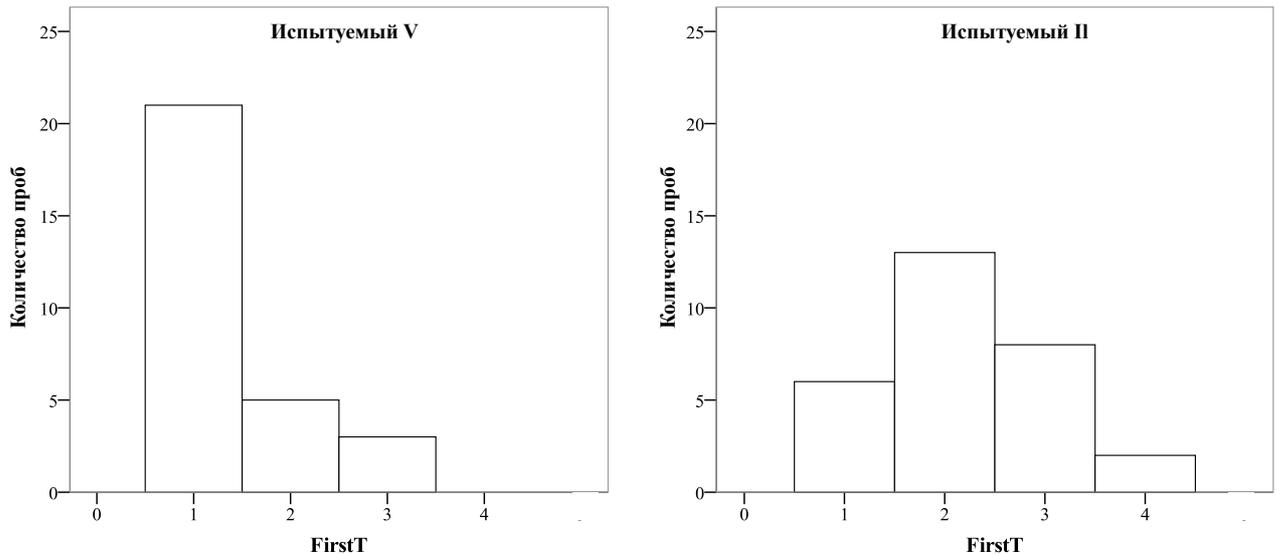


Рисунок 23. Распределение FirstT по пробам в условии «целевая пирамида среди призм» у участников V (слева) и II (справа).

Вариант 3. Целевая пирамида среди призм (Рис. 17в)

Это условие является более сложным, чем два предшествующих, поскольку типы фигуры-цели и фигур-дистракторов совпадают. Возникновение трудностей распознавания и поиска можно увидеть по увеличению усредненного значения FirstT по всем испытуемым, которое составило 2.19 ($t(10)=3.78$, $p=.004$) при диапазоне от 1.58 ($t(30)=5.15$, $p=.0002$) до 2.59 ($t(31)=-0.5$, $p=.61$) (Рис. 24, слева). Это означает, что некоторые участники могли уже не использовать данные экстрафовеального анализа при решении задач этого условия. Количество ошибок при этом невелико: двое испытуемых совершили около 15% ошибок, остальные – не более одной. Несмотря на то, что тип всех фигур идентичен, небольшое количество ошибок свидетельствует о невысоком уровне сложности зрительного поиска. В случае призм это может быть объяснено тем, что их основания всегда остаются видимыми, а значит, может быть пересчитано количество углов.

Статистика метакритерия распределения значимостей демонстрирует $D(11)=.546$, $p=.001$ и выявляет различные перцептивные стратегии у разных участников: судя по визуализации, репрезентирующей теоретическое равномерное распределение значимостей, трое испытуемых явно использовали

экстрафовеальный анализ, то трое изображенных посередине графика – скорее нет; и в этом случае метакритерий мощнее t-критерия Стьюдента (Рис. 24, справа).

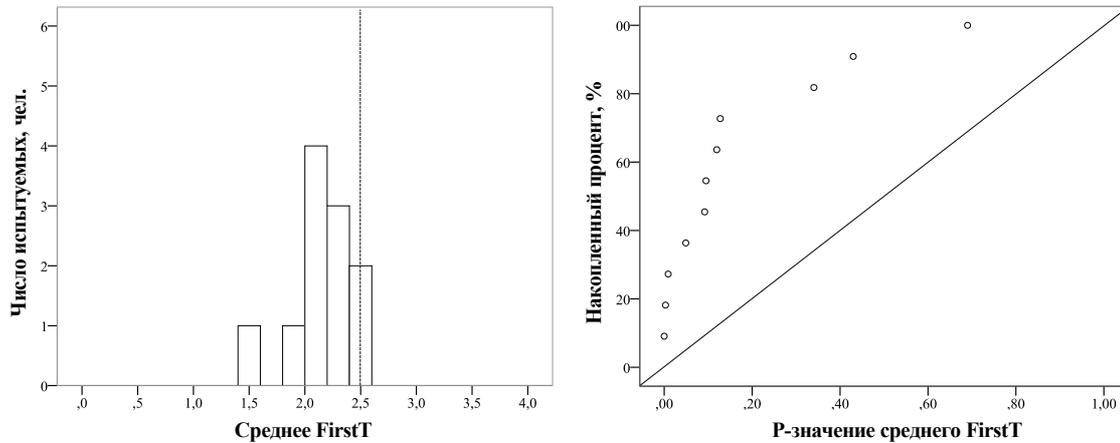


Рисунок 24. Распределение индивидуальных средних FirstT по всем испытуемым (слева) и кумулятивное распределение p-значений t-теста различий между средним FirstT и 2.5 по каждому испытуемому (справа) в условии целевой призмы среди призм.

Анализ влияния обучения снова обнаруживает разнонаправленные тенденции: у четырех испытуемых наблюдается улучшение FirstT, у семи – ухудшение.

Статистика распределения значимостей характеризуется смещенностью в правую сторону с преобладанием тенденции к ухудшению основного параметра (Рис. 25). Аналогичная тенденция наблюдается для параметра времени выполнения проб.

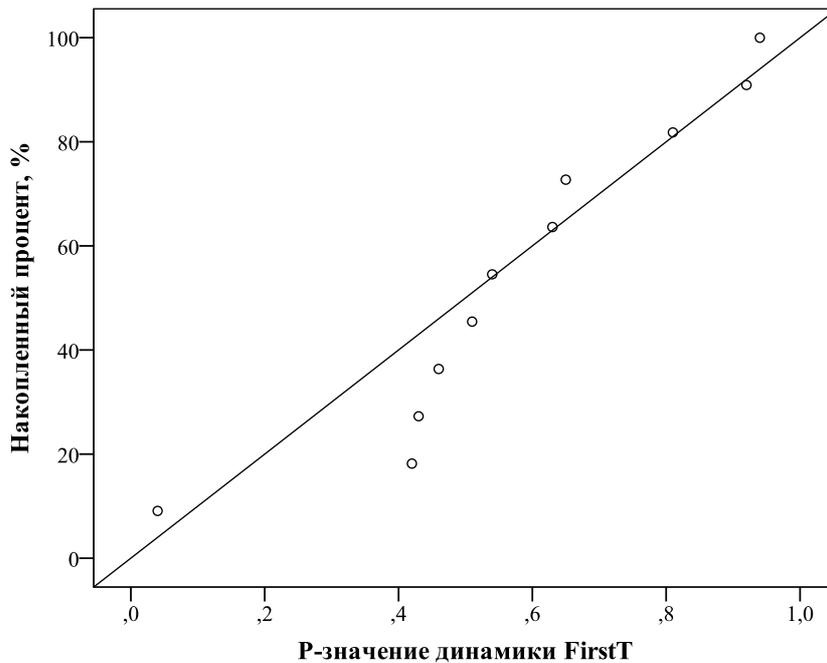


Рисунок 25. Динамика распределения значимостей по группе в условии целевой призмы среди призм.

Вариант 4. Целевая пирамида среди пирамид (Рис. 17г)

В связи с тем, что данное условие является крайне сложным, количество ошибок у большинства испытуемых значительно: девять из них дали около половины неверных ответов ($M=13.8$, $SD=7.3$), и лишь у трех испытуемых наблюдается небольшое количество ошибок – 0, 3 и 4.

Средние значения параметра FirstT превышают 2.5 при отсутствии его убывающей динамики на протяжении эксперимента. Сокращение значений наблюдается по показателям времени ответа и общего количества фиксаций.

Несмотря на то, что дальнейший анализ имеет мало смысла ввиду небольшого числа проб с правильными ответами, мы, тем не менее, приведем основные результаты, следуя логике изложения данных по предыдущим трем условиям. Усредненное значение FirstT по всем испытуемым составило 2.75 ± 0.14 , $t(9)=1.36$, $p=.207$, и оно не улучшалось с течением эксперимента. По отдельным испытуемым FirstT варьировал от 2.08 ($t(9)=1.5$, $p=.09$) до 2.94 ($t(17)=-.14$, $p=.193$) (Рис. 26, слева). Метакритерий распределения значимостей показал значение

$D(10)=.44$, $p=.021$ (Рис. 26, справа), что свидетельствует о необходимости многократного фовеального анализа стимулов для некоторых испытуемых.

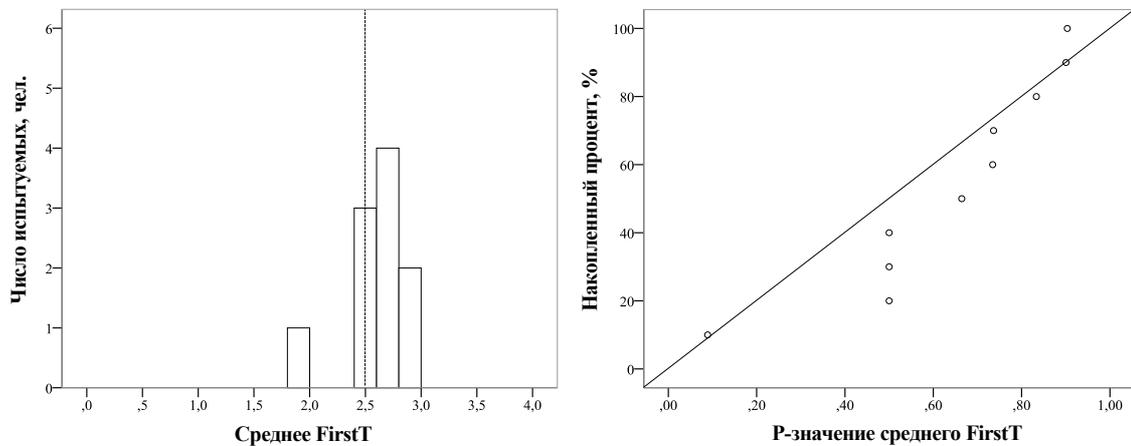


Рисунок 26. Распределение индивидуальных средних FirstT по всем испытуемым (слева) и кумулятивное распределение p-значений t-теста различий между средним FirstT и 2.5 по каждому испытуемому (справа) в условии целевой пирамиды среди пирамид.

В целом, результаты по данному условию показывают значительные затруднения испытуемых при выборе ответа. Это выражается в достаточно долгом рассматривании и сравнении возможных ответов между собой, а также практически полном отсутствии автоматизации выбора эталонной фигуры. Роль экстрафовеального анализа, по всей видимости, стремится к нулю и практически не оказывает влияния на выбор направления первой саккады. В качестве объяснения можно предположить, что при таком сложном условии экстрафовеальное распознавание требует слишком много времени и ресурсов и потому оказывается не в состоянии управлять процессом программирования саккад.

Обсуждение

Результаты Исследования 3 демонстрируют значительное влияние фактора дистрактора на успешность экстрафовеального анализа зрительного поля и категориального поиска трехмерных геометрических фигур. В условии несовпадения типов фигур цели и дистракторов количество секторов до целевого

меньше случайного, что показывает наличие крайне быстрой параллельной оценки всех стимулов и принятие решения о переводе в фовеальную для последующего анализа лишь наиболее подходящих под понятие объектов.

В условии совпадения типов целевой фигуры и дистракторов наблюдается снижение эффективности экстрафовеального анализа. В случае целевой призмы среди призм он, однако, всё еще возможен по причине видимого основания, а значит, количества углов. Можно предположить, что предварительная экстрафовеальная обработка объектов способна вычленивать эти опорные ключи-подсказки.

В ситуации целевой пирамиды среди пирамид дело обстоит гораздо сложнее, поскольку их основание намеренно скрыто и никаких явных подсказок нет. В данном случае испытуемому остается ориентироваться на субъективный эталон целевой фигуры, а также на ее параметры относительно других стимулов.

Результаты анализа четвертого, наиболее сложного условия, позволяют заключить, что указанные ориентиры являются слишком трудноуловимыми, чтобы значимо влиять на процесс планирования саккад в период экстрафовеального анализа. Возможным объяснением сильных затруднений может также служить невысокий уровень экспертизы наших испытуемых в распознавании трехмерных фигур.

Анализ воздействия обучения на показатель успешности экстрафовеальной обработки обнаружил наличие межиндивидуальных различий, поскольку во всех четырех условиях часть испытуемых показывала тенденцию к улучшению показателя, а часть – к ухудшению.

Некоторые испытуемые, демонстрировавшие влияние эффективного экстрафовеального анализа, могли к концу эксперимента показать его существенное ухудшение. Объяснением этому наблюдению может выступить тот факт, что все факторы были квазирандомизированы, а значит, пробы по каждому условию следовали не подряд. Следовательно, могло оказаться выгодным придерживаться единой стратегии как для простых, так и для сложных условий, и поэтому даже при наличии возможности использовать экстрафовеальный анализ в

простых пробах, в них использовался более унифицированный алгоритм, подходящий изначально для сложных условий. Помимо этого, на характер динамики основного показателя FirstT могли оказывать влияние субъективные факторы: утомление, однообразие экспериментальных заданий, снижение мотивации и т.д.

Сравнение результатов этого исследования с предыдущим (на материале планиметрических, 2D-фигур) показывает, что категориальный поиск трехмерных фигур всё же вызывает больше затруднений и чаще требует фовеальной обработки, по сравнению с поиском двумерных фигур. Такой результат в определенной мере противоречит данным Pilon и Friedman (1998), показавших, что различия в эффективности поиска скорее объясняет сама по себе сложность стимулов, чем число измерений в изображении фигур.

Анализ влияния других факторов – пространственной ориентации стимулов, количества углов у целевой фигуры и более реалистичного/схематичного изображения объектов – их значимого влияния на процессы экстрафовеального анализа не обнаружил.

Выводы по исследованию 3

Результаты Исследования 3 выявили влияние факторов типа целевой фигуры, типа дистракторов и обучения, а также послужили основой для перспектив и гипотез Исследования 4, которое было полностью посвящено изучению параметров движений глаз в наиболее сложном условии – пирамиды-цели среди пирамид-дистракторов.

2.4. Исследование 4. Специфика экстрафовеального анализа на материале трехмерных фигур (пирамид) в условии совпадения типов целевой фигуры и дистракторов

Цели и гипотезы исследования 4

Частной целью Исследования 4 выступило более детальное изучение процессов экстрафовеальной обработки в наиболее сложном условии предыдущего

эксперимента – при поиске зрительной модели математического понятия 4- или 5-угольной пирамиды среди других пирамид. В связи с тем, что результаты предшествующего исследования показали отсутствие участия экстрафовеального анализа в распознавании этих фигур, данный эксперимент был организован для выяснения того, могут ли меняться характеристики и степень вовлеченности экстрафовеального анализа в ходе обучения. Для этой же цели в эксперименте была введена специальная серия с запретом на движения глаз из центра экрана.

В качестве гипотез исследования мы предположили, что в задачах настолько высокого уровня сложности экстрафовеальный анализ будет крайне затруднен или нарушен у большинства испытуемых, что отразится в увеличении порядкового номера зоны с целевым стимулом до случайного (2.5) или выше. Однако уровень эффективности этого распознавания будет улучшаться по мере обучения: количество просмотренных зон до первого попадания в целевую область будет уменьшаться, во-первых, в ходе самого обучения (серии 3-8), а во-вторых, между контрольными сериями (2 и 9). В результате обучения испытуемые смогут различать пирамиды с помощью исключительно экстрафовеального анализа, то есть при отсутствии движений глаз частота угадывания будет выше случайной (серия 10).

Поскольку итоговой целью серии исследований является поиск границы, при которой экстрафовеальный анализ становится значительно затрудненным или вовсе невозможным, неподтверждение выдвинутых гипотез будет не меньшим достижением, чем подтверждение.

Метод

Параметры движений глаз фиксировались тем же образом, что и в предыдущих исследованиях. Процедура, способ предъявления стимулов, а также обработка результатов были такими же. Испытуемым приводилась следующая инструкция: «Вашей задачей будет находить стереометрические фигуры (четырёх- и пятиугольные пирамиды), указанные в инструкции. Прочитав инструкцию, переведите взгляд на фиксационный крест. После этого появится слайд с 4-мя фигурами, из которых Вы должны будете выбрать нужную. Как только Вы ее

найдете, нажмите на пробел и назовите букву сектора, в котором она находилась. Постарайтесь выполнять задания как можно быстрее и правильнее». Перед каждым предъявлением слайда со стимулами, на экран выводилось напоминание с названием целевой фигуры на следующем слайде. Перед последней серией, в которой вводился запрет на движения глаз из центра экрана, предъявлялась инструкция: «Внимание! Постарайтесь выполнять задания, не переводя взгляд из центра экрана».

Стимулы представляли собой слайды с 3-, 4-, 5- и 6-угольной крашенными (с тенями) пирамидами, равноудаленными от центра на расстоянии 4-6 угловых градусов (Рис. 27). Задачей испытуемого было, в зависимости от инструкции, находить 4- или 5-угольную пирамиду как можно скорее и точнее. Варьировались следующие параметры: целевая фигура (4- или 5-угольная пирамида), возможность движений глаз, ориентация стимула в пространстве, расположение в одном из четырех секторов. Последние два фактора варьировались квазирандомизированным образом.

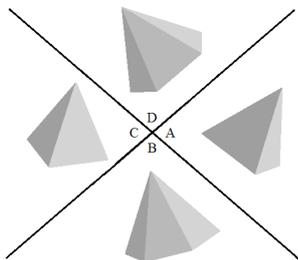


Рис. 27. Образец стимульного слайда в Исследовании 4

Общее количество проб составило 160: две половины по 80 проб с 10-минутным перерывом между ними. Внутри половин выделялись также серии по 8 проб с одинаковым целевым стимулом. Каждые 8 проб менялась целевая фигура: сначала 4-угольная пирамида, затем 5-угольная. Перед второй половиной эксперимента проводилась повторная процедура калибровки.

Серия 1 (пробы с 1-й по 16-ю) предназначалась для ознакомления с процессом эксперимента. Пробы с 17-й по 32-ю и со 129-й по 144-ю (серии 2 и 9) были обозначены как контрольные; в них использовались стимулы, не предъявлявшиеся в других сериях эксперимента. Фигуры в этих двух сериях были

расположены под углом взора к основанию равном 35 градусам (в остальных сериях они предъявлялись под углом 25 градусов). Контроль заключался в возможности оценки переноса навыка распознавания на новые экземпляры соответствующей категории.

Наибольший интерес в этом исследовании представляла серия 10 (пробы со 145-й по 160-ю), в которой по инструкции запрещалось смотреть куда-либо, кроме центральной области. Поиск цели должен был осуществляться без перевода взгляда в секторы с фигурами. Введение такой серии позволило изучить параметры исключительно экстрафовеального анализа. При дальнейшей обработке пробы, в которых обнаружались фиксации за пределами центральной зоны, были удалены из анализа.

Выборка

В выборку участников вошло 18 человек возрастом от 18 до 25 лет (2 мужчин, 16 женщин) с нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Обработка данных

Анализ данных включал показатели времени ответа, его правильности, общего количества фиксаций, а также быстроты экстрафовеального распознавания цели. Статистическая обработка осуществлялась тем же образом, что и в Исследовании 3.

Результаты и обсуждение

По итогам анализа количества правильных ответов у каждого из испытуемых, они были разделены на две группы. В первую из них вошло 7 человек, допустивших большое количество ошибок (около половины). Для этой группы расчет среднего показателя количества посещенных секторов до целевого не проводился. Ко второй группе были отнесены 11 человек, у которых большинство ответов были правильными: у всех более 63%, в среднем около 76%.

Ответы испытуемых первой, «неуспешной» группы, характеризовались неспособностью отличить трехгранные пирамиды от четырехгранных, а пятигранные – от шестигранных. В связи с этим, указанные связки фигур были объединены в пары, и далее для этой группы расчеты проводились с учетом

попарного сходства фигур. Несмотря на введение такого расширительного условия, у трех испытуемых этой группы количество ошибок осталось довольно большим (10-20%), однако у четырех других оно составило не более 3%.

Относительно двух пар целей была проведена соответствующая модификация показателя экстрафовеальной обработки поля. Теперь необходимо было рассчитывать количество посещенных зон не до первого попадания в сектор с целевой фигурой, а до попадания в один из секторов либо с целью, либо с парным ей дистрактором. Этот показатель был обозначен как FirstSimilar. Его значение при случайном выборе направления первой саккады составило бы $1*1/2+2*1/2*2/3+3*1/2*1/3*1=1.67$.

Среднее значение показателя FirstSimilar у испытуемых первой группы в обучающих сериях 3–8 оказалось равным 1.61, что практически идентично значению при случайном порядке разглядывания стимулов.

Был проведен анализ специфики распределения значимостей отдельно по обеим группам, однако различий обнаружено не было: статистика по первой группе показывает $D(7)=.427$, $p > .1$; по второй группе – $D(11)=.466$, $p=.01$; для обеих групп сразу – $D(18)=.420$, $p < .01$.

Ниже приведен график распределения значимостей отдельно по группам 1 и 2 (Рис. 28, 29).

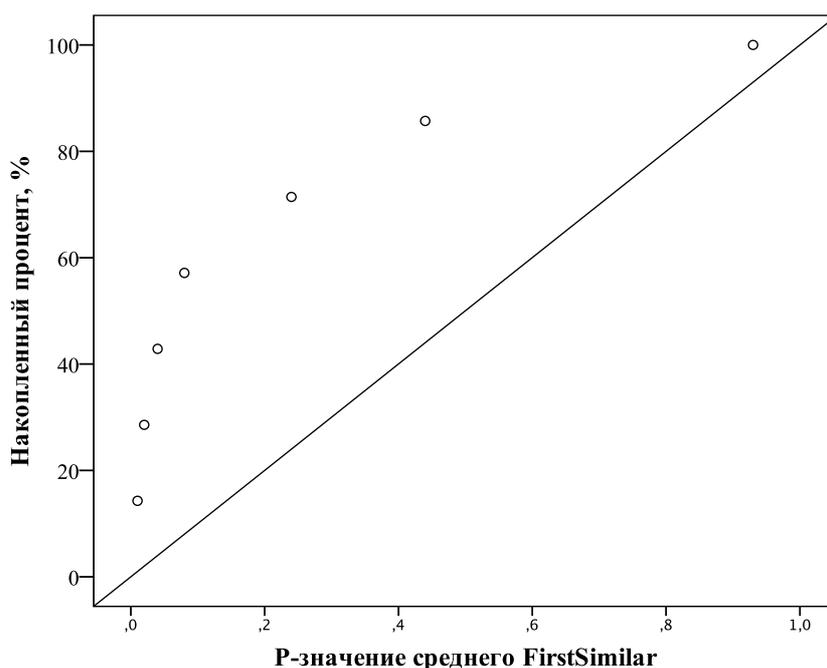


Рисунок 28. Статистика распределения значимостей показателя FirstSimilar в сериях 3-8 для первой группы испытуемых.

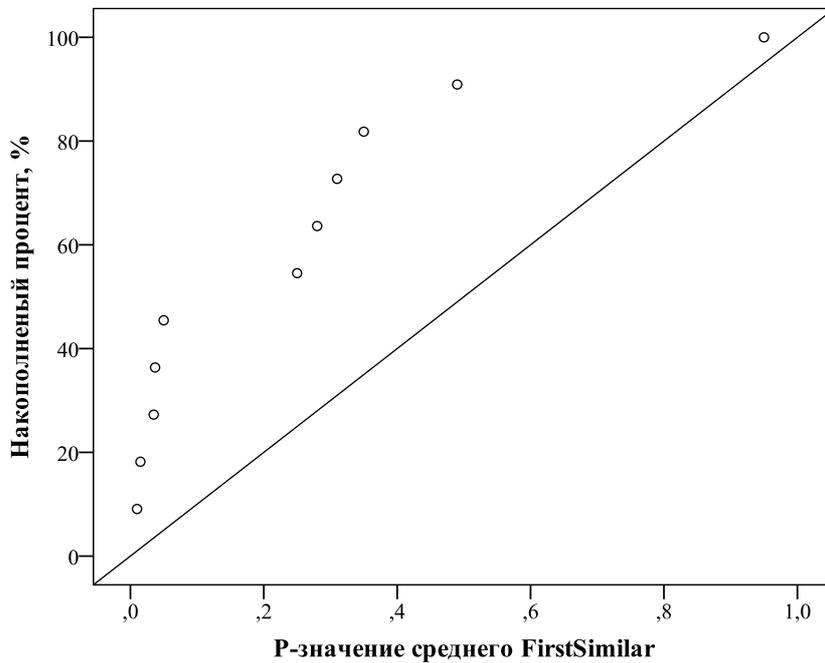


Рисунок 29. Статистика распределения значимостей показателя FirstSimilar в сериях 3-8 для второй группы испытуемых.

Анализ показателя FirstSimilar в контрольных второй и девятой сериях показывает среднее значение 1.6; при этом у первой группы $D(7)=.3$, $p>.2$, у второй – $D(11)=.34$, $p>.1$ (Рис. 30 и 31 соответственно), у обеих групп в совокупности – $D(18)=.255$, $p>.1$.

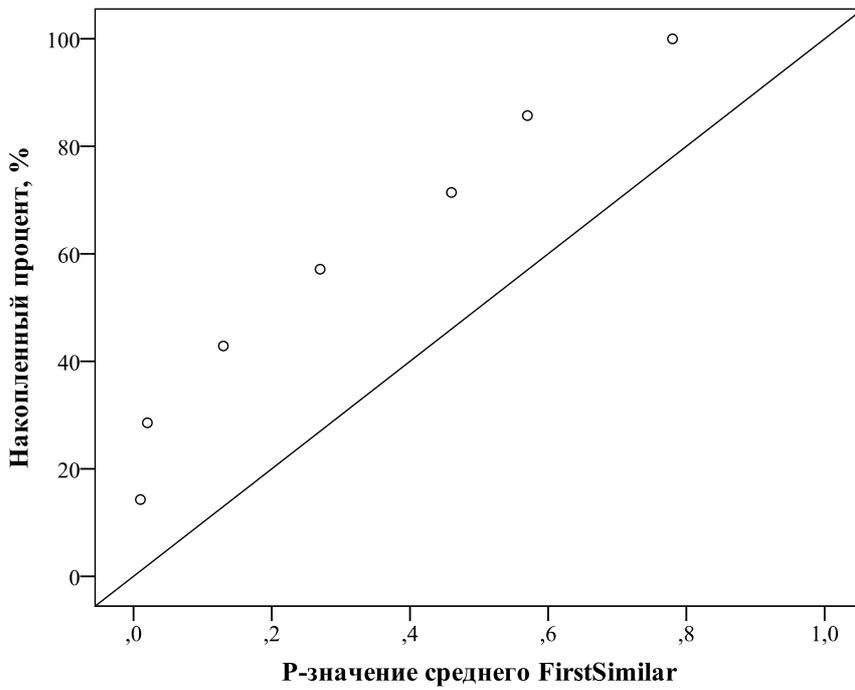


Рисунок 30. Статистика распределения значимостей показателя FirstSimilar в сериях 2 и 9 для первой группы испытуемых.

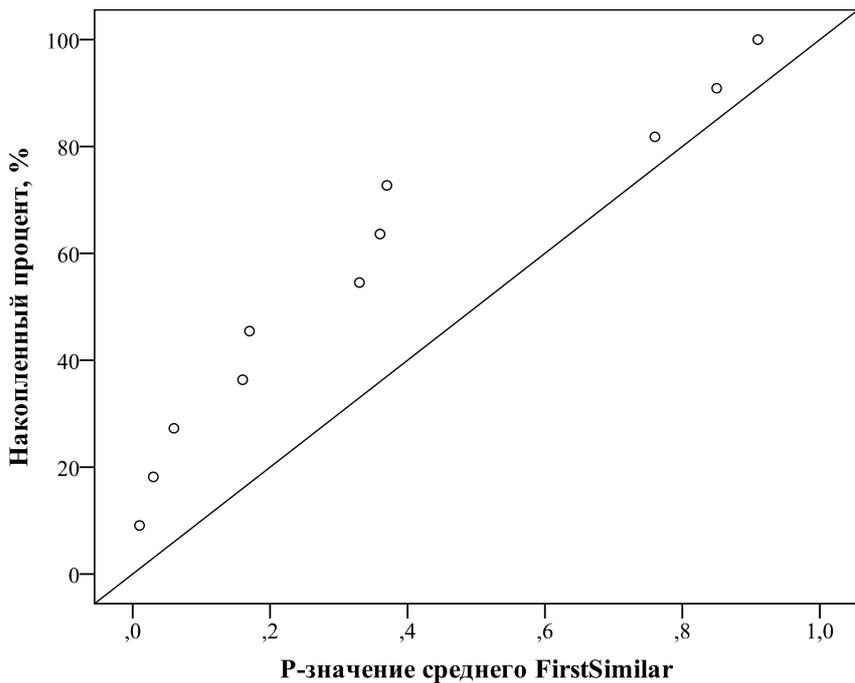


Рисунок 31. Статистика распределения значимостей показателя FirstSimilar в сериях 2 и 9 для второй группы испытуемых.

Аналог гипотезы о наличии экстрафовеального распознавания двух групп целей можно считать практически подтвержденным. Стоит, однако, учитывать, что

данный эффект обнаружен на повторяющихся фигурах из обучающих серий, тогда как в контрольных сериях эффект не так выражен.

Динамика улучшения экстрафовеального анализа в обучающих сериях также незначительна. Результат у тринадцати испытуемых из обеих групп в среднем улучшается, что позволяет предположить всё большую степень участия экстрафовеальной обработки в программировании саккад. Статистические показатели по группам следующие: по первой $D(7)=.456$, $p=.08$, по второй – $D(11)=.33$, $p=.07$ (Рис. 32 и 33 соответственно), по обеим – $D(18)=.324$, $p=.04$.

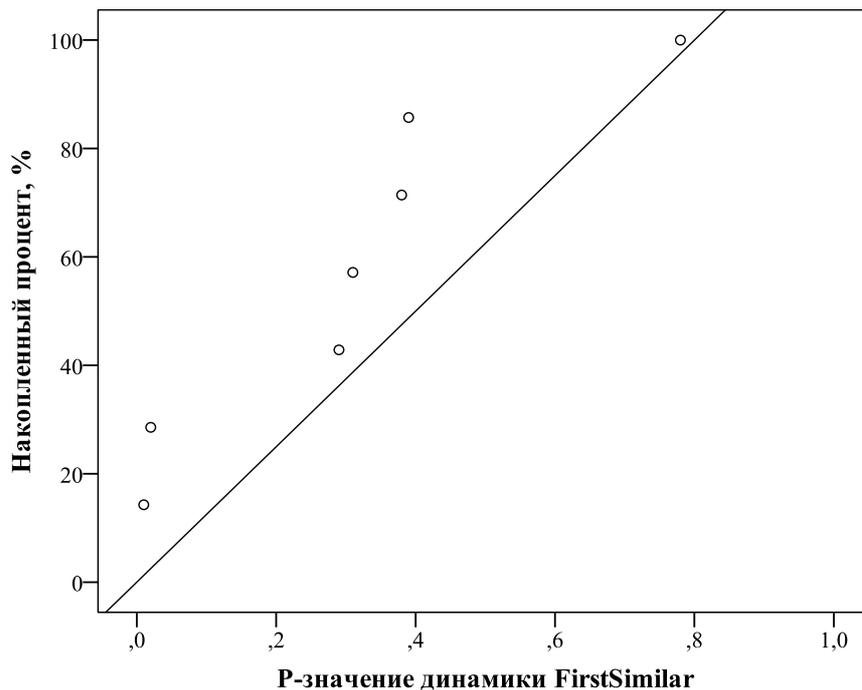


Рисунок 32. Динамика показателя FirstSimilar в сериях 3-8 у первой группы испытуемых.

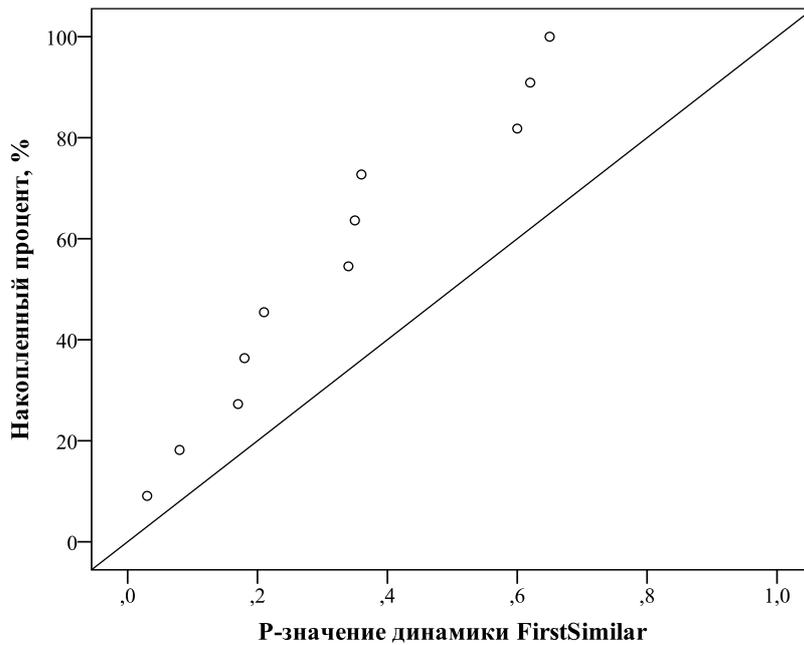


Рисунок 33. Динамика показателя FirstSimilar в сериях 3-8 у второй группы испытуемых.

Приведенные данные представляют собой некоторое свидетельство в пользу гипотезы о том, что уровень эффективности экстрафовеального распознавания будет улучшаться в ходе обучения в тренировочных сериях 3–8.

Сходная тенденция наблюдается в контрольных сериях 2 и 9. Так, у шести испытуемых первой группы результат в 9-й серии в среднем лучше, чем во 2-й, однако у всех из них, кроме одного, $t < 2$ при $p > .05$. Статистика распределения значимостей для первой группы при этом составляет $D(7) = .471$, $p = .06$ (Рис. 34). Во второй группе улучшение почти отсутствует: $D(11) = .14$, $p > .2$ (Рис. 35). Для обеих групп в среднем $D(18) = .28$, $p = .1$.

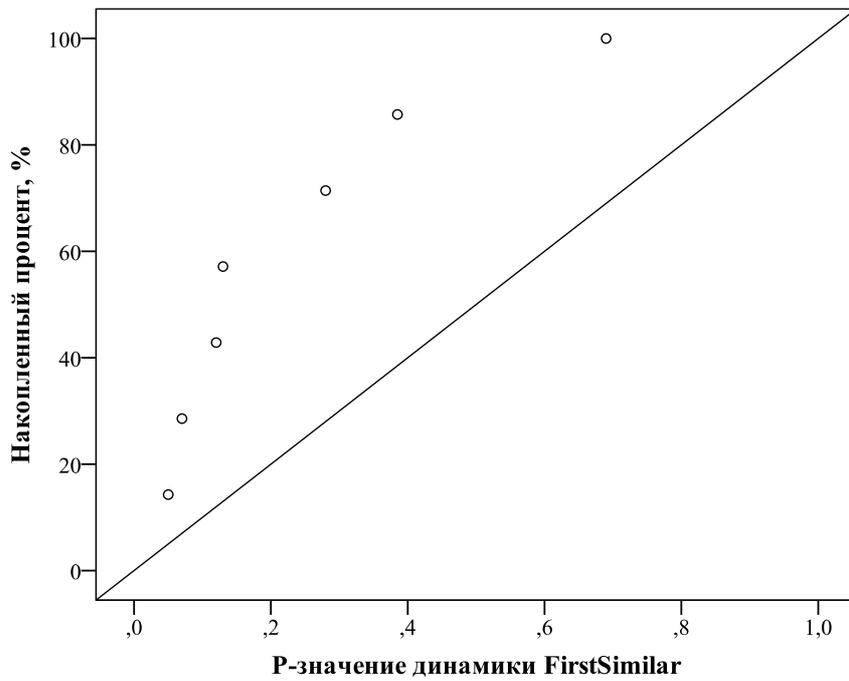


Рисунок 34. Динамика показателя FirstSimilar в сериях 2 и 9 у первой группы испытуемых.

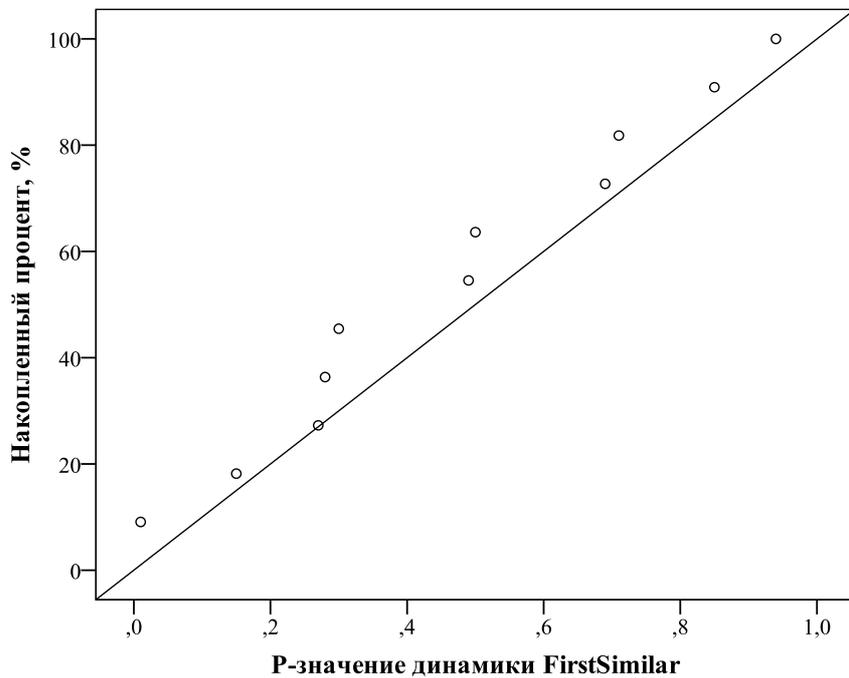


Рисунок 35. Динамика показателя FirstSimilar в сериях 2 и 9 у второй группы испытуемых.

Исходя из полученных на контрольном материале результатов, предположение об улучшении эффективности экстрафовеального распознавания фигур между контрольными сериями не подтверждается.

Рассмотрим далее подробно вторую группу испытуемых, участники которой дали в основном правильные ответы в большинстве проб. Данные логистической регрессии процента правильных ответов к номеру пробы по обучающим сериям показывают разнонаправленные тенденции: у семи испытуемых положительные значения коэффициента, у четырех – отрицательные. Распределение значимостей регрессионных коэффициентов приведено на Рис. 36 ($D(11)=.453$, $p=.02$).

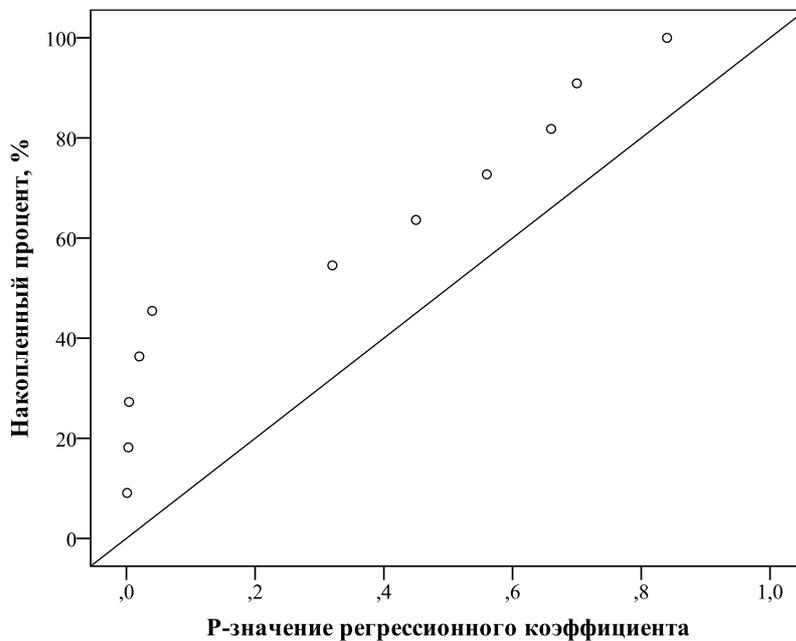


Рисунок 36. Распределение значимостей регрессионных коэффициентов в сериях 3-8 у второй группы.

Из приведенных коэффициентов пять показателей имеют значимость менее .05, но только одна из них сохраняется после поправки Бонферрони на множественные сравнения, у остальных значения начинают превышать .1. В случае применения биномиального критерия с границей .1, вероятность получить пять или более результатов из одиннадцати, которые имели бы значимость менее .1, будет составлять .0003.

При анализе результатов контрольных серий были применены таблицы сопряженности по каждому из испытуемых: в качестве первой переменной выступил номер серии – 2 или 9, в качестве второй – количество правильных ответов. В качестве статистики использовались точные значимости.

График распределения значимостей представлен на Рис. 37: $D(11)=.352$, $p=.1$. Динамика изменения индивидуальных показателей следующая: у шести испытуемых количество ошибок сокращается (из них у двоих точная значимость менее .05), у двоих увеличивается, у троих не меняется. Такие результаты могут говорить о том, что некоторые испытуемые научаются различать две группы фигур, однако не все из них впоследствии могут применить приобретенный навык на новых стимулах.

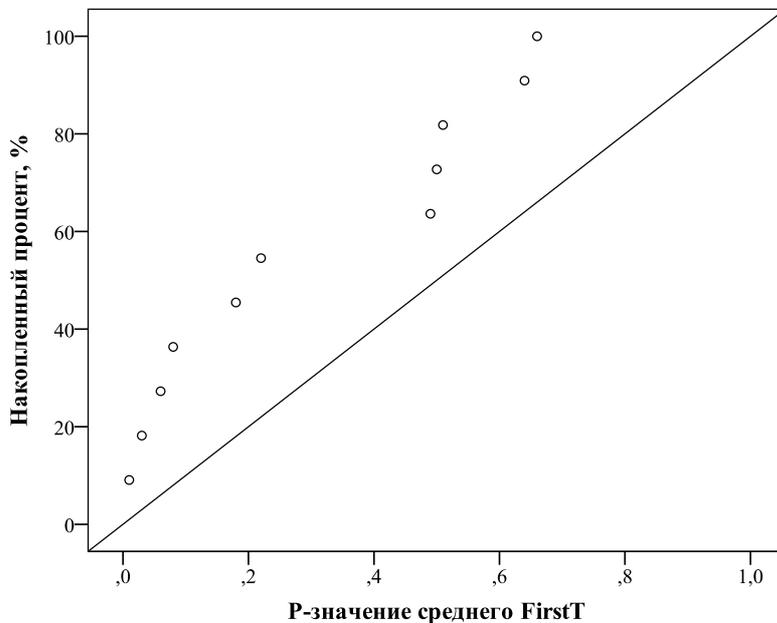


Рисунок 37. Распределение значимостей FirstT в сериях 2 и 9 у второй группы.

Далее для испытуемых второй группы рассчитывался показатель FirstT (количество посещенных секторов до зоны с целевым стимулом) тем же образом, что и в описанных ранее исследованиях. Напомним, что при случайном выборе направления саккад его значение будет равняться 2.5.

Одновыборочный t-критерий относительно 2.5 показывает следующие показатели значимостей для обучающих серий: минимальная составляет 2.13, $D(11)=.28$, $p>.1$ (Рис. 38)

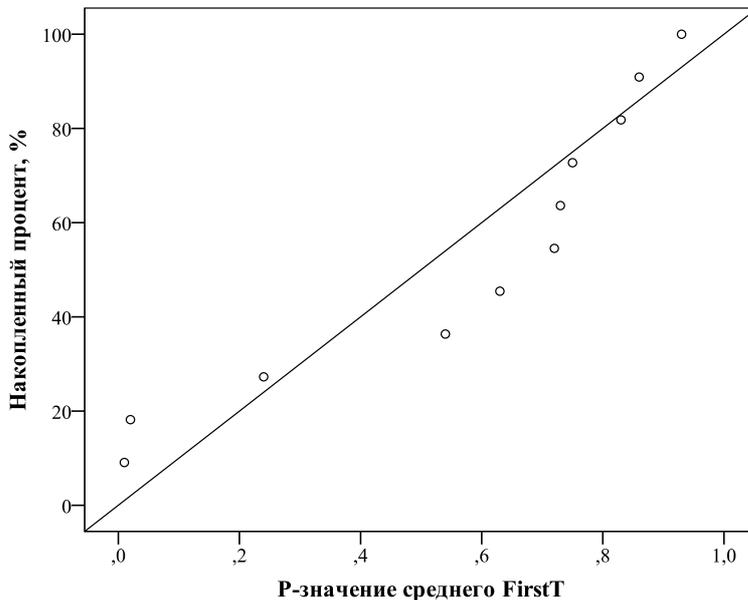


Рисунок 38. Распределение значимостей показателя FirstT в сериях 3-8 для второй группы.

На графике видно, что значительное число испытуемых второй группы (восемь из одиннадцати) демонстрирует показатель хуже случайного. Можно предположить, что в таких случаях применяется определенная стратегия, направленная в первую очередь на отбраковку неверных вариантов: сначала саккада производится к заведомо нерелевантным стимулам и только затем – к релевантным.

Анализ динамики изменения показателя FirstT для обучающих серий выявил слабую тенденцию к его улучшению, однако по отдельным испытуемым наблюдается разнонаправленность изменений. У шести человек значение показателя растет в ходе эксперимента. На Рис. 39 представлены значимости регрессионных коэффициентов по сериям 3–8: слева находятся результаты испытуемых, показывающие уменьшение FirstT, а значит, улучшение эффективности экстрафовеального анализа ($D(11)=.175$, $p >.1$).

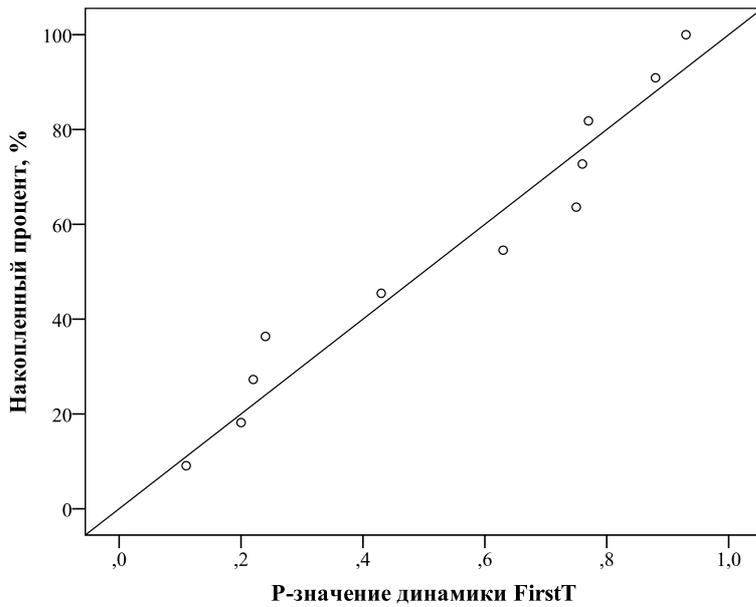


Рисунок 39. Динамика изменения показателя FirstT в сериях 3-8 у второй группы.

Аналогичные тенденции были обнаружены по результатам выполнения контрольных серий. Средние значения показателя FirstT варьируют от 1.81 до 2.78. $D(11)=.25$, $p>.1$ (Рис. 40).

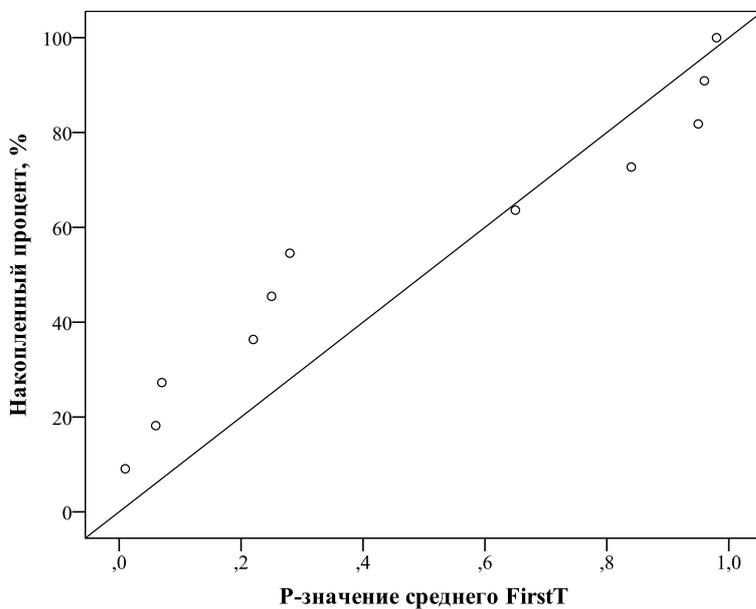


Рисунок 40. Распределение показателя FirstT в сериях 2 и 9 у второй группы.

Использование экстрафовеального анализа имеет статистически не подтвержденную тенденцию к улучшению: выборочное распределение значимостей вполне соответствует равномерному (Рис. 41).

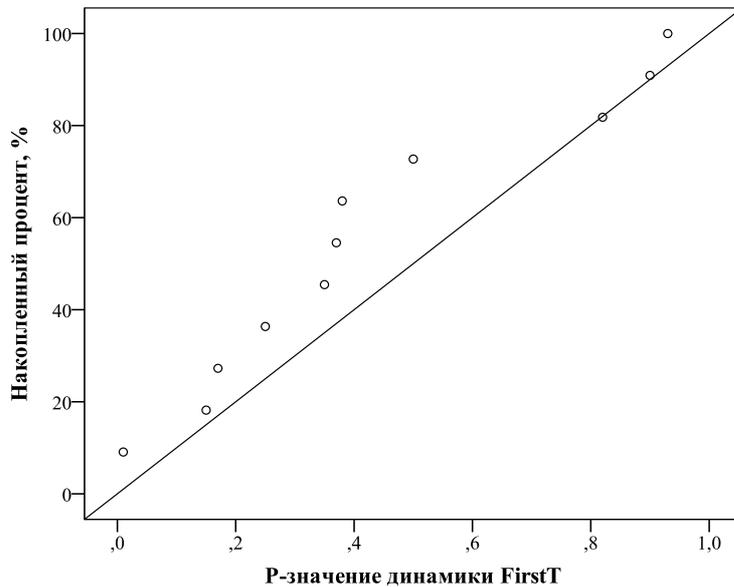


Рисунок 41. Динамика изменения показателя FirstT в сериях 2 и 9 у второй группы.

Интересно отдельно рассмотреть результаты испытуемого М, который имеет наилучший абсолютный показатель в обучающих сериях (среднее 2.13, $t=3.99$, $p<.0001$; на Рис. 38 его результат является крайним слева) и при этом наихудший показатель динамики (значение FirstT увеличивается при $p<.07$; на графике 35 его результат крайний, наоборот, справа). Количество ошибок при этом немного сокращается.

Сходные тенденции наблюдаются у этого испытуемого и по контрольным сериям: наилучший средний FirstT (1.81, $t=2.9$, $p=.07$) и его значительное увеличение от 1.19 во второй серии до 2.44 в 9-й при сокращении числа ошибок. Похожий результат, хотя и менее выраженный, обнаруживается при расчетах с объединенными парами стимулов (3- и 4-гранные пирамиды, 5- и 6-гранные пирамиды).

Результаты испытуемого М. представляются нам очень важными, поскольку динамика показателей его глазодвигательной активности демонстрирует не

научение, а изменение поведения. Можно сделать предположение о том, что экстрафовеальный анализ, предшествующий программированию саккад, не обеспечивает значимого преимущества, поскольку в дальнейшем все равно требуется эксплицитное сравнение фигур, даже если цель была определена сразу. Следовательно, все равно потребуются сравнительный анализ фигур и ряд переключений между ними, а, значит, роль экстрафовеального анализа в планировании саккад со временем уменьшается.

Интересно также то, что этот испытуемый имеет образование дизайнера, а также долгое время обучался в художественной школе. Можно предположить, что такой опыт обеспечивает более тонкое различение трехмерных геометрических объектов и возможность свободно с ними взаимодействовать, что в нашем эксперименте отразилось как формирование нетипичной, но эффективной стратегии поиска стимулов. Результаты испытуемого М. в сочетании с его прошлым опытом, включавшем постоянное оперирование геометрическими объектами, приводит нас к гипотезе о том, что люди, более часто и тесно взаимодействующие со схематизированными изображениями трехмерных фигур, будут демонстрировать специфические паттерны глазодвигательной активности в задаче на поиск подобных объектов. Данная гипотеза впоследствии была проверена в заключительном 5-м эксперименте серии исследований.

Таким образом, гипотеза об обучении экстрафовеальному анализу не подтверждается, и, более того, для некоторых испытуемых наблюдается прямо противоположная тенденция.

Интересно также проанализировать результаты 10-й серии, в которой испытуемых просили найти целевую фигуру, удерживая взгляд в центре экрана. Напомним, что в случае выхода фиксации за пределы центральной зоны результаты пробы исключались из дальнейшего анализа.

По всем участникам было в среднем получено .71 правильных ответов при частоте угадывания .25. Худшими результатами были .38 и .5, остальные испытуемые дали больше половины правильных ответов. Сравнение с биномиальным распределением по критерию хи-квадрат, соответствующему

случайному угадыванию, показывает для всех участников, кроме троих, значение более 8 ($p < .005$). Статистика распределения значимостей составляет $D(11) = .74$, $p < .001$. Такие результаты убедительно свидетельствуют о том, что распознавание цели с помощью экстрафовеального анализа происходит значительно чаще случайного угадывания.

Однако стоит учесть тот факт, что большинство участников успешно выделяло пары похожих стимулов: 3- и 4-гранные пирамиды, а также 5- и 6-гранные. Анализ правильности ответов подтверждает это наблюдение: во всех случаях, кроме одного, когда давался неправильный ответ, указывался похожий стимул из пары. Это говорит о том, что пары похожих стимулов выделялись экстрафовеально практически всегда, а затем внутри пары определялась цель.

Интересно сравнить частоту верных ответов не с .25, а с .5, что соответствует выбору из пары похожих стимулов, когда правильная пара уже выбрана. С учетом этого значения результаты выглядят не так ярко, однако средняя частота .71, а также тот факт, что девять человек дали больше половины правильных ответов, и шесть из них – более .75, свидетельствуют в пользу гипотезы о том, что для определения цели использовался экстрафовеальный анализ. Статистика распределения значимостей показывает $D(11) = .545$, $p < .002$ (Рис. 42).

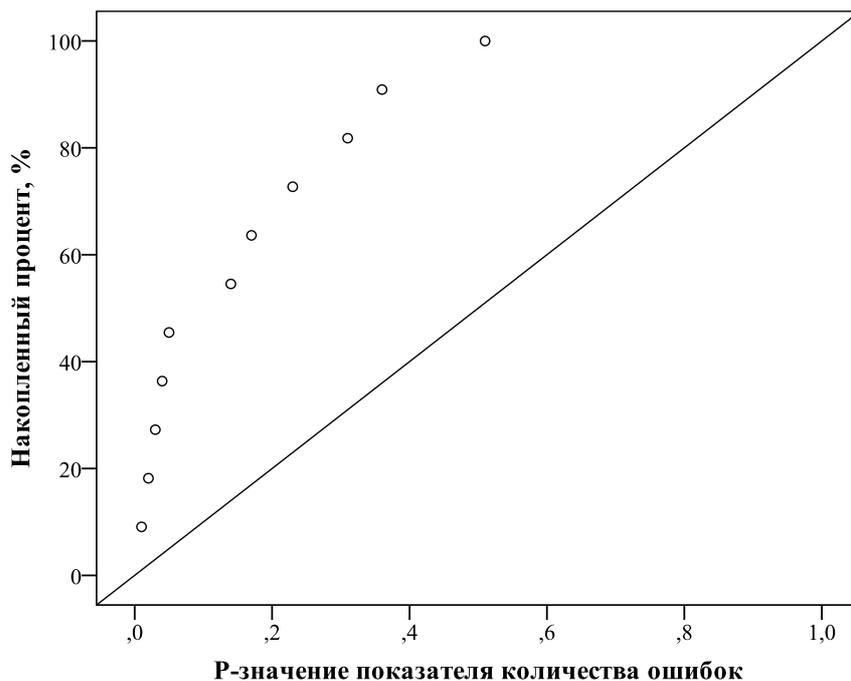


Рисунок 42. Распределение значимостей показателя количества ошибок у второй группы.

Кроме того, было проведено сравнение количества просмотренных зон после достижения целевой (количество переключений между зонами) во 2-й и 9-й сериях. В среднем по всем участникам данный показатель изменился с 3.49 до 2.82. Распределение значимостей, полученных применением парного t-критерия, показывает $D(11)=.402$, $p=.045$ (Рис. 43), что говорит о достаточно надежном обучении на уровне фовеального разглядывания.

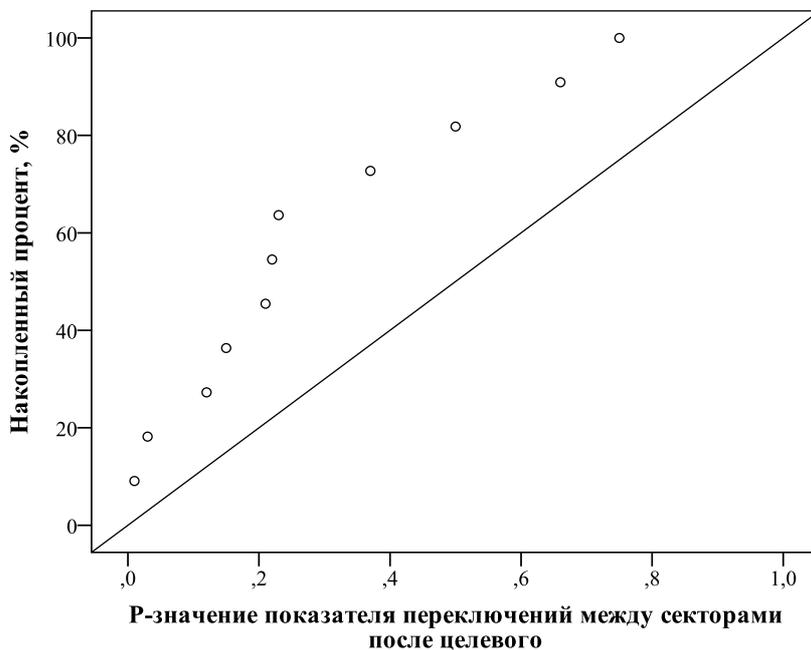


Рисунок 43. Распределение значимостей показателя количества переключений между зонами после достижения целевой у всех испытуемых.

Можно заключить, что экстрафовеальная обработка зрительного поля оказалась возможной для большинства испытуемых, однако зачастую не применялась ими для планирования направления саккад. Это может быть объяснено тем, что данный вид анализа требует слишком большого количества времени и затрат ресурса. В связи с этим, индивидом выбирается более простой вариант фовеального рассматривания и сопоставления стимулов. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что в обычных сериях, разрешающих

свободное разглядывание стимулов, и в 10-й, где это запрещалось, общее время различается не слишком сильно: в среднем по всем испытуемым 3.817 и 3.361 сек соответственно (использовался Т-критерий для связанных выборок, $t=1.76$, $p=.1$).

Возвращаясь к результатам Исследования 3, можно сравнить количество сопоставляющих фиксации в наиболее сложных условиях целевой призмы среди призм и целевой пирамиды среди пирамид. Было проведено сравнение средних значений данного показателя по каждому испытуемому обеих групп. Результаты показали сильный индивидуальный разброс, однако, тенденция выражена вполне очевидно: средние значения для призм составили 1.11 ($SD=0.91$), для пирамид – 3.32 ($SD=2.16$), $t(13.5)=3.11$, $p=.008$ (для сравнения использовался вариант Т-критерия без предположения равенства дисперсий, в обеих группах было по 11 человек). Следовательно, можно говорить о том, что в более сложной ситуации осуществляется значительно более интенсивный фовеальный анализ после первого нахождения целевого стимула.

Выводы по Исследованию 4

Результаты данного исследования позволяют заключить, что условие сложных трехмерных фигур (пирамид) вызвало трудности у всех испытуемых, что отразилось в увеличении количества посещенных секторов и фиксаций в целом, а также снижении эффективности экстрафовеального анализа в пробах, где можно было переводить взгляд. Анализ проб, в которых инструкцией вводился запрет на движения глаз, показал, что экстрафовеальный анализ вполне возможен для большинства испытуемых, однако же в силу определенных причин подавляется ими, когда запрета на движения глаз нет. Это может быть объяснено тем, что в случае сложных стимулов экстрафовеальная обработка поля занимает достаточно много времени и не успевает повлиять на процесс программирования саккад.

Другим важным выводом данного исследования является обнаружение модификации поведения при решении задачи у испытуемых, причем у каждого субъекта это изменение носило индивидуальный характер (Дренёва и др., 2018). В этом исследовании можно было наблюдать не только специфические стратегии,

использующие или игнорирующие данные экстрафовеального анализа для решения задачи, но также различные типы трансформации этих стратегий в процессе эксперимента. Так, некоторые испытуемые демонстрировали успешное обучение категориальному поиску, что выражалось в сокращении числа посещенных секторов и улучшении показателя эффективности экстрафовеального анализа. Другие испытуемые, изначально более успешно различавшие стимулы и имевшие более высокий показатель эффективности экстрафовеального анализа, могли с течением эксперимента демонстрировать его ухудшение, за которым стояла выработка единой стратегии и для легких, и для сложных задач, несмотря на то что легкие задачи они могли решать с помощью экстрафовеального анализа. Таким образом, можно говорить об индивидуализации стратегий зрительного поиска у каждого из испытуемых, а также специфического их изменения в процессе эксперимента.

В контексте межиндивидуальных различий и стратегий решения перцептивной задачи можно также говорить о влиянии установок разного уровня, потенциально определявших поведение участников. Например, влияние экспериментально контролируемых установок разного уровня на степень выраженности феномена слепоты к изменению было показано в работе Гусева и Садовской (2015) с использованием парадигмы мерцания.

Кроме того, результаты одного из испытуемых, имевшего значительный опыт взаимодействия с изображениями трехмерных объектов, позволили предположить воздействие такого опыта на специфику движений глаз при решении задачи на материале стереометрических фигур. Для проверки гипотезы о том, влияет ли релевантный опыт на эффективность и паттерны движений глаз в поисковой задаче, был организован заключительный, пятый эксперимент серии.

2.5. Исследование 5. Сравнение эффективности экстрафовеального анализа на материале трехмерных фигур у математиков («экспертов») и психологов («новичков»)

Цели и гипотезы Исследования 5

В качестве **частных целей** Исследования 5 были выделены следующие. Во-первых, нас интересовало влияние прошлого опыта, включавшего длительную и активную работу со схематическими изображениями трехмерных фигур, на параметры глазодвигательной активности и эффективности решения поисковых задач на материале стереометрических объектов. Во-вторых, наличие в предыдущем эксперименте всего одной серии с запретом на движения глаз, позволило определить лишь принципиальную возможность экстрафовеального анализа в таком сложном условии, но не вероятность его позитивной динамики. В Исследовании 5 была добавлена дополнительная контрольная серия без движений глаз для проверки предположения об обучении экстрафовеальному анализу, а также для определения динамики изменения его параметров.

Для исследования пластичности экстрафовеального анализа и его динамики на протяжении эксперимента мы проанализировали четыре параметра: 1) динамику изменения среднего FirstT от начала к концу эксперимента по каждому испытуемому, 2) динамику изменения общего времени выполнения пробы, 3) динамику изменения количества правильных ответов и 4) характеристики решения задачи в усложненном условии с запретом на движения глаз из центра экрана и их динамику от первой ко второй такой серии.

Мы предположили, что в задачах настолько высокого уровня сложности экстрафовеальный анализ будет крайне затруднен или нарушен у большинства испытуемых, что отразится в увеличении порядкового номера первого посещения зоны с целевым стимулом до случайного или выше. Однако уровень эффективности экстрафовеального распознавания будет улучшаться по мере обучения: количество просмотренных зон до первого попадания в целевую область будет уменьшаться в ходе обучения. Кроме того, уровень эффективности экстрафовеального распознавания будет выше во второй контрольной серии (серии 9), по сравнению с первой контрольной серией (серией 2): количество правильных ответов вырастет. Мы также предположили, что результаты (по параметрам эффективности экстрафовеального анализа, количества правильных ответов и

времени ответа) группы «экспертов» будут значимо лучше, по сравнению с результатами группы «новичков».

Метод

Регистрация глазодвигательной активности осуществлялась таким же образом, как в предыдущих исследованиях. В этом исследовании были использованы те же слайды со стимулами, что и в Исследовании 4. Различалось количество серий – 9 серий по 16 проб, а также наличие двух серий с запретом на движения глаз – 2-й и 9-й. В них же угол взора к плоскости основания был 35 (а не 25) градусов для оценки качества переноса навыка распознавания пирамид на новые изображения фигур.

Всего было предъявлено 144 слайда: в первой половине 80, во второй – 64; между ними был небольшой перерыв длительностью 5–15 минут. Слайды объединялись в серии по 16 стимулов, из которых 8 подряд в качестве целевого стимула задавали 4-угольную пирамиду, и остальные восемь – 5-угольную пирамиду.

Процедура

На экран испытуемому выводилась общая инструкция: «Вам будет предъявляться серия изображений, каждое из которых содержит по одной правильной 3-, 4-, 5- и 6-угольной пирамиде. Вашей задачей будет находить целевую фигуру – 4- или 5-угольную пирамиду, указанную в инструкции. Прочитав инструкцию, переведите взгляд на фиксационный крест. После этого появится слайд с 4-мя фигурами, из которых Вы должны будете выбрать нужную. Как только Вы ее найдете, нажмите на пробел и назовите букву сектора, в котором она находилась. Постарайтесь выполнять задания как можно быстрее и правильнее». После прочтения испытуемый нажимал на пробел, и на экран выводилось предупреждение о том, какая фигура будет целевой на следующие несколько проб. Перед каждой пробой также появлялось напоминание целевой фигуры.

Перед сериями 2 и 9, в которых нельзя было отводить взгляд от центра экрана, предъявлялась следующая инструкция: «Внимание! Постарайтесь выполнять задания, не переводя взгляд из центра экрана».

Выборка

Выборка была поделена на две группы: «экспертов» (имеющих техническое образование – математики, физики, программисты) и «новичков» (психологов). В первую группу вошло 15 человек (8 мужчин, 7 женщин), во вторую – 17 человек (1 мужчина, 16 женщин). Возраст участников был от 18 до 25 лет. Все они имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Результаты и обсуждение

По результатам эксперимента было проанализировано 4162 пробы по 29 испытуемым. Пробы еще троих участников были испорчены из-за технической неисправности. Анализ количества правильных ответов в целом по всем сериям показал следующие результаты: в группе «экспертов» в среднем было дано 74.2% правильных ответов, в группе «новичков» – 70.1%, что, как и в предыдущем исследовании, указывает на значительную сложность поисковых задач. Анализ средних выявил отсутствие значимых различий между двумя группами (Табл. 4).

Таблица 4

Количество правильных ответов в группах математиков и психологов в Исследовании 5

Математики		Психологи	
ID испытуемого	Количество правильных ответов (%)	ID испытуемого	Количество правильных ответов (%)
V	58.9	T	50
A1	65.3	A4	50.7
M1	68.5	A5	54.9
A2	68.7	M3	55.2
A3	69.2	I	56.6
Y	69.9	M4	62.5
N	70.6	D2	69.7
E1	72.1	V	74.8
E2	72.9	E3	76.1

D1	74.1	M5	77.8
S	90.2	K2	78
K1	91	A6	81.1
M2	93.1	A7	82.6
		K3	82.6
		A8	84
		D3	85
Среднее арифм.	74.2	Среднее арифм.	70.1
Медиана	70.6	Медиана	75.45

Отсутствие значимых различий между двумя группами может говорить о том, что данная экспериментальная задача требует включения навыка, не зависящего напрямую от образовательного профиля. Данные постэкспериментального интервью демонстрируют, что участники из группы психологов, давшие наибольшее число правильных ответов (81% и выше), имели достаточно большой опыт взаимодействия со схематизированными формами трехмерных фигур, например, посещали художественную школу, дополнительно занимались стереометрией, изготавливали макеты трехмерных фигур и т.д. В то же время некоторые испытуемые из группы математиков, напротив, допустили довольно много ошибок, что указывает на слабую выраженность навыка различения трехмерных фигур при общей математической направленности учебной и профессиональной деятельности.

Далее расчеты проводились отдельно по тренировочным, «свободным» сериям 3-8 и контрольным сериям 2 и 9 с запретом на движения глаз.

На этот раз набор рассчитываемых показателей был расширен: кроме индивидуальных показателей FirstT и их распределения в общем, было рассчитано его поведение в среднем по группам, а также были измерены корреляция FirstT и номера пробы, время подготовки первой саккады, правильность ответа и общее время выполнения пробы.

Для каждого испытуемого было рассчитано индивидуальное среднее значение показателя FirstT по сериям от третьей до восьмой. Среднее значение FirstT по группе «новичков» равно 2.26 при стандартном отклонении 0.24, отличие от 2.5 характеризуется значением $t(15)=3.8$, $p=.002$. Практически те же показатели у группы «экспертов» – 2.26 (0.25), $t(12)=3.5$, $p=.004$. Можно сказать, что в среднем обе группы демонстрируют существенное и одинаковое использование экстрафовеального анализа (совокупный результат $t(28)=5.3$, $p=.0000014$). Однако большой разброс результатов весьма интересен: он есть следствие больших индивидуальных различий (которые на сериях в общей сложности 96 проб фиксируются совершенно устойчиво). Распределение значимостей индивидуальных отличий от 2.5 можно увидеть на Рис. 44. Показатель D критерия Колмогорова-Смирнова по двум группам в совокупности: $D=.49$ при $p=.0000006$ (наилучшим значимостям в группе «новичков» соответствует минимальное значение FirstT – 1.72, в группе «экспертов» – 2.04) (Рис. 44).

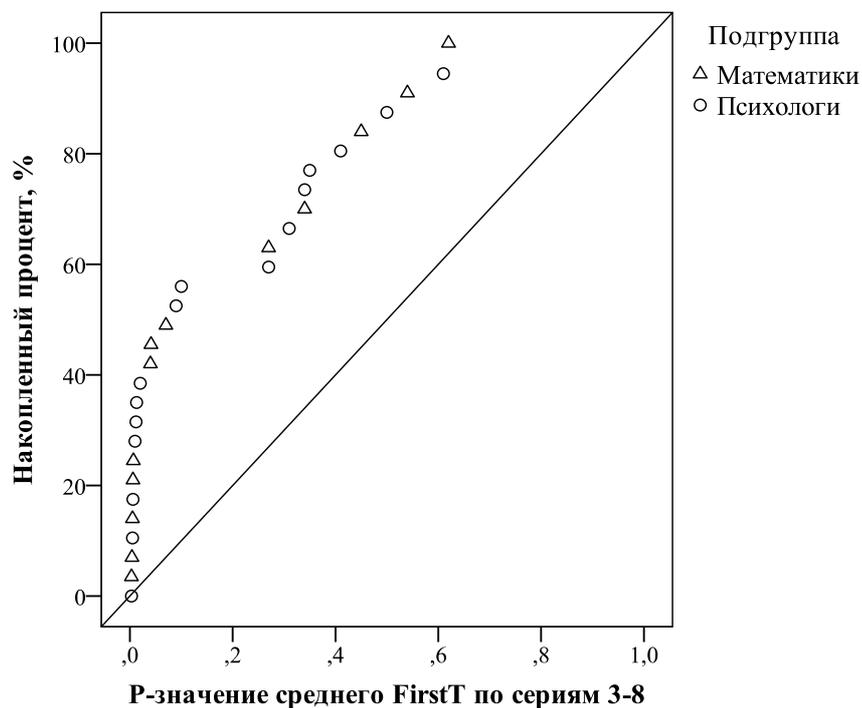


Рис. 44. Кумулятивное распределение р-значений средних FirstT в сериях 3–8 у двух групп испытуемых.

Напомним, что Исследование 4 убедительно продемонстрировало, что в большинстве проб цель выбирается не из четырех предложенных вариантов, а из двух, поскольку 4-гранная пирамида очень похожа на 3-гранную, а 5-гранная – на 6-гранную. С учетом такого попарного сходства стимулов был добавлен дополнительный показатель FirstSimilar, отражающий количество посещенных зон до сектора либо с целью, либо с парным ей дистрактором. Среднее значение FirstSimilar при случайном просмотре равно $1*1/2+2*1/2*2/3+3*1/2*1/3*1=1.67$, с этим числом сравнивался FirstSimilar в каждой пробе отдельно по каждому испытуемому.

Среднее значение FirstSimilar по группе «новичков» равно 1.55 при стандартном отклонении 0.19, отличие от 1.67 характеризуется значением $t(15)=2.41$, $p=.03$. Практически те же показатели у группы «экспертов» – 1.52 (0.12), $t(12)=4.4$, $p=.001$. В среднем обе группы демонстрируют существенное использование экстрафовеального анализа (совокупный результат $t(28) = 4.4$, $p = .00014$). Здесь мы видим еще больший разброс результатов. Распределение значимостей индивидуальных отличий от 1.67 можно увидеть на Рис. 44. Показатель D критерия Колмогорова-Смирнова по двум группам в совокупности: $D=.53$ при $p=.00000006$ (наилучшим значимостям в группе «новичков» соответствует минимальное значение FirstSimilar – 1.23, в группе «экспертов» – 1.32) (Рис. 45).

Пять респондентов, занимающих на рисунке правые позиции (им соответствуют средние 1.73, 1.73, 1.74, 1.78 и 1.88) демонстрируют довольно стабильное превышение над средним ожидаемым значением. Нам не удастся предложить внятных гипотез такого превышения; у одного из этих респондентов среднее FirstT оказывается даже немного меньше 2.5 – это могло бы быть в случае, если он игнорирует указанное нами сходство, но успешно ориентируется на другие признаки целевых фигур. Заметим, что любая из подобных гипотез могла бы проверяться только на существенно более длинных сериях проб. Результаты этих пяти респондентов существенно «испортили» статистическую значимость при сравнении средних и при этом никак не сказались на значимости по критерию D, в

результате чего она и оказалась лучше, что дает пример целевого для нашего критерия распределения данных.

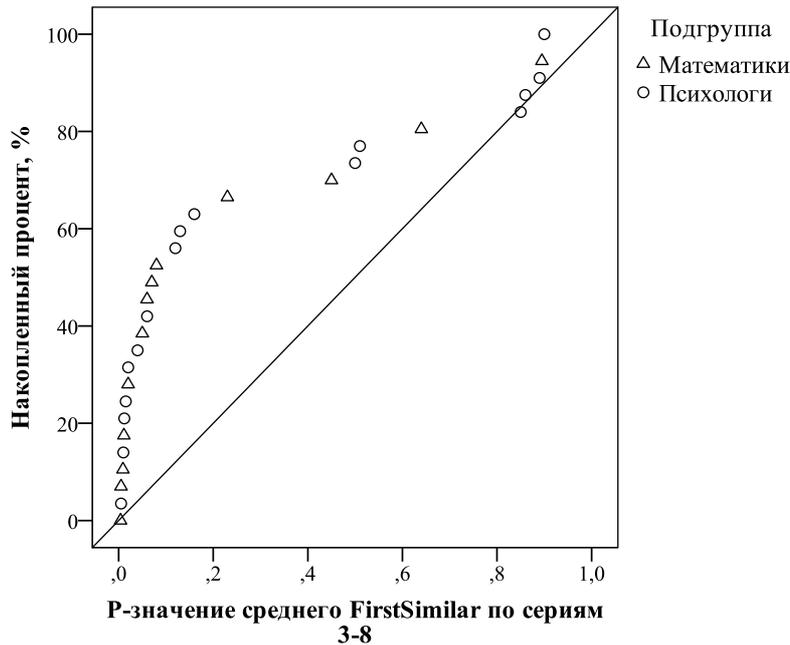


Рис. 45. Кумулятивное распределение р-значений средних FirstSimilar в сериях 3–8 у двух групп испытуемых.

При объединении результатов участников групп «новичков» и «экспертов» по тренировочным сериям 3–8 среднее значение FirstT по всем испытуемым составило 2.28 ($t(28)=4.9$, $p=.00004$). Эти данные приведены только по пробам с правильными ответами, что гипотетически могло исказить результаты, поскольку для анализа выбираются более легкие пробы. Однако, если мы проанализируем все пробы независимо от правильности ответов результат станет даже сильнее: $t(28)=5.3$.

Помимо средних показателей, были также проанализированы индивидуальные стратегии. Метакритерий распределения значимостей демонстрирует $D(29)=.315$, $p=.005$, указывая на то, что некоторые участники с очевидностью использовали экстрафовеальный анализ при решении задач. Результаты одновыборочного t-теста по каждому субъекту показывает р-значение менее .001 для семи участников, что выдерживает поправку Бонферрони для 29 сравнений. Мода распределения индивидуальных средних FirstT расположена

около 2.5 при выраженной вариативности доверительных интервалов (Рис. 46). Такой результат может быть интерпретирован как то, что порядка половины субъектов могли не использовать данные экстрафовеального анализа при планировании саккад, тогда как остальные, по-видимому, их применяли (см. очень низкие р-значения на Рис. 46в).

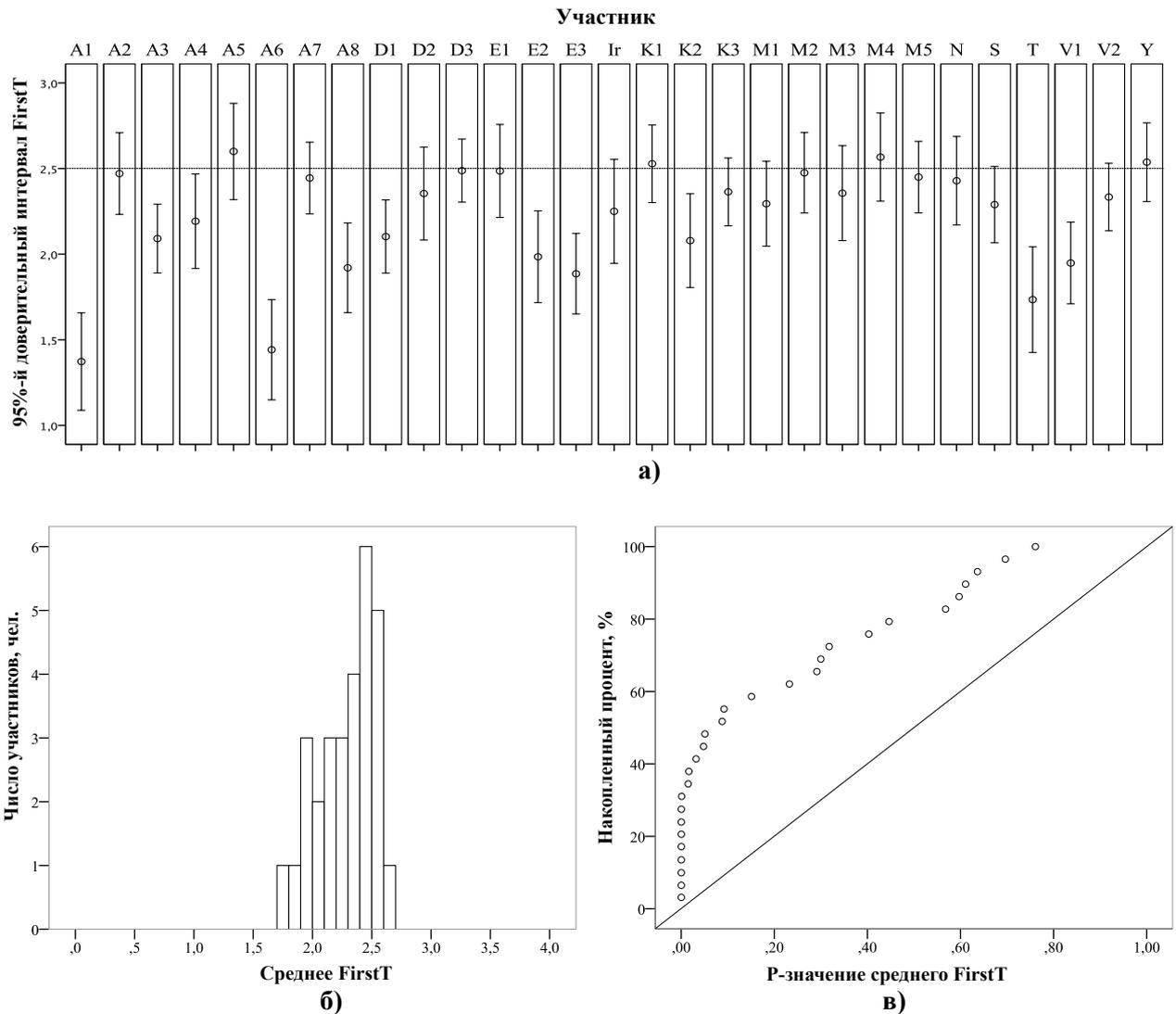


Рисунок 46. 95%-е доверительные интервалы индивидуальных средних FirstT (а), распределение индивидуальных средних FirstT (б) и кумулятивное распределение р-значений средних FirstT по всем участникам в Исследовании 5.

Отрицательная и значимая корреляция между номером пробы и FirstT, означающая постепенное научение находить целевую фигуру при просматривании всё меньшего числа секторов, была обнаружена всего у 3 испытуемых из 29. Значимое ухудшение параметра, то есть положительная корреляция номера пробы

с FirstT, наблюдалась у двух участников. Однако ни у одного из этих испытуемых значимости показателя не выдержали бы поправки Бонферрони на множественные сравнения. В связи с этим, мы не можем говорить о динамике FirstT на протяжении тренировочных серий, что означает отсутствие какого-либо объективно наблюдаемого научения находить экстрафовеально целевую пирамиду среди дистракторов при задаче свободного поиска (однако это не значит, что такого научения не было – см. ниже).

Далее мы оценили корреляцию номера пробы со временем подготовки (латенцией) первой саккады, предположив, что положительная корреляция может означать постепенное возрастание роли экстрафовеального анализа на этапе планирования первой саккады, что требует некоторых возрастающих временных затрат. Отрицательная корреляция в этом контексте могла бы отражать либо ухудшение мотивации испытуемого; либо привыкание к типу задачи и, следовательно, повышение скорости ее решения; либо снижение мотивации искать правильный ответ как-то иначе, чем пересмотрев предложенные варианты. Анализ индивидуальных корреляций показал значимые отрицательные показатели у 7 испытуемых, однако указанные значимости не выдерживают поправку Бонферрони. При этом нам не удалось найти связь между динамикой времени подготовки саккады и уровнем и динамикой использования экстрафовеального анализа данным респондентом. Следовательно, ситуация остается неопределенной.

Мы проанализировали также динамику количества фиксаций в одной пробе. Значимая положительная корреляция с номером пробы, то есть увеличение общего количества фиксаций в продолжение эксперимента, была обнаружена у 5 испытуемых (при этом у двоих значимость выдерживает поправку Бонферрони). Значимая отрицательная корреляция, свидетельствующая о какого-то рода научении, была выявлена у 11 участников (при этом у троих выдерживающие поправку значимости).

Распределение значимостей данного показателя весьма существенно отличается от равномерного ($D(31)=.4$, $p=.00012$) (Рис. 47).

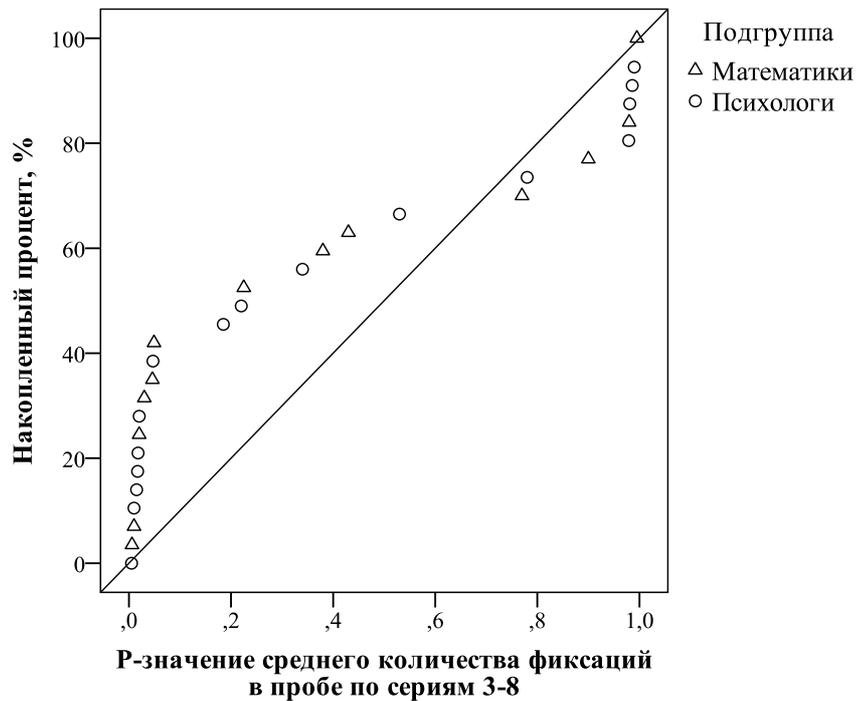


Рис. 47. Кумулятивное распределение р-значений средних показателя «количество фиксаций в пробе» в сериях 3–8 у двух групп испытуемых.

Значение статистики определяется сгущением слева, однако и сгущение справа, если искусственным образом исказить левую половину распределения, дало бы значимость около .09. Каков смысл этих противонаправленных тенденций, говорить пока рано.

В целях иллюстрации индивидуальных перцептивных стратегий опишем два ярко противоположных случая испытуемых Т и Ir, первый из которых явно использовал экстрафовеальный анализ более активно в начале эксперимента, но с каждой новой пробой эта активность падала (Рис. 48, слева), а второй, напротив, на протяжении эксперимента, по всей видимости, применял экстрафовеальный анализ всё больше и больше (Рис. 48, справа).

Для участника Т среднее значение FirstТ в тренировочных сериях 3–8 составило 1.79, и сравнение его с 2.5 показывает значимость менее .0001. Коэффициент регрессии, в которой зависимой переменной выступило значение FirstТ, а независимой – номер пробы, равен .012, $p=.0015$ (обе приведенные значимости выдерживают поправку Бонферрони). Процент правильных ответов у этого испытуемого увеличивался на протяжении эксперимента: коэффициент

логистической регрессии составил .24 при $p=.003$. GenT (общее время выполнения пробы) также возрастал, о чем свидетельствует регрессионный коэффициент, равный 31 мсек за пробу, соответствующий 3-секундному увеличению в течение тренировочных серий. Предположительно этот участник в середине эксперимента выбрал стратегию более точного решения задачи после серии очень быстрых неуспешных догадок с FirstT, равным нулю (Рис. 48, слева).

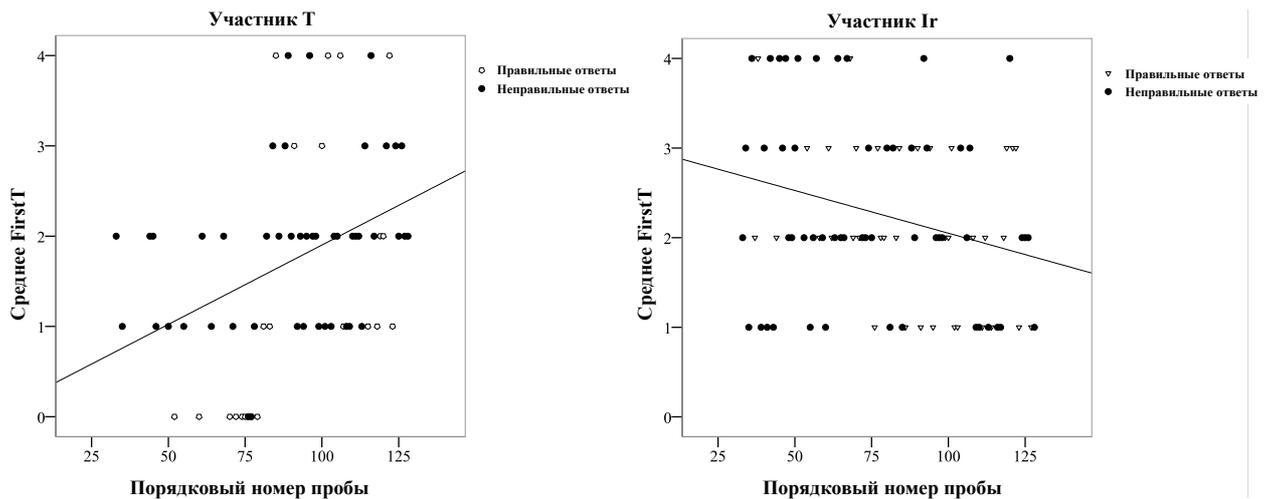


Рисунок 48. Изменение FirstT на протяжении тренировочных серий 3–8 у участника T (слева) и Ir (справа).

Испытуемый Ir продемонстрировал в точности противоположные тенденции. Среднее значение FirstT по тренировочным пробам равнялось 2.24 при $p=.013$; регрессионный коэффициент FirstT от номера пробы составил $-.23$ при $p=.009$, а процент правильных ответов падал на протяжении проб (коэффициент логистической регрессии равен $-.17$, $p=.029$) (Рис. 48, справа). Для решения задачи этому участнику требовалось все меньше времени: регрессионный коэффициент для GenT по номеру пробы равен -8 мсек за пробу, $p<.00001$, для всей последовательности из 96 проб он составил -768 мсек. Этот участник, вероятно, постепенно терял интерес к задаче и все больше полагался на экстрафовеальный анализ без попыток решать задачу точнее.

Другие участники на протяжении эксперимента продемонстрировали различные паттерны динамики решения задачи. Например, пятеро субъектов,

показавшие выраженное снижение времени решения задачи, имели стабильное значение показателей FirstT и процента правильных ответов. Это указывает на возможность изменения степени вовлеченности экстрафовеального анализа и других связанных показателей с течением проб по различным причинам, которые являются предметом отдельного исследования (Дренёва, Кричевец, 2021а).

Рассмотрим далее контрольные серии 2 и 9, в которых инструкцией вводился запрет на движения глаз. Мы отфильтровали только те пробы, в которых фиксации вне центральной зоны не наблюдалось. Во второй серии отсеянных проб у некоторых респондентов было много (у одного испытуемого лишь одна проба оказалась неиспорченной), в девятой отсеяно 66 из 464 проб (14%). Семь респондентов выполнили правильно все 16 проб. Далее мы составили выборки индивидуальных частот по второй и девятой сериям. Различия средних между группами «экспертов» и «новичков» минимальны (.56 и .57 во второй серии и .68 и .69 в девятой, соответственно). Объединив группы, получаем, что среднее индивидуальных частот правильных ответов значительно выше в 9-й серии, по сравнению со 2-й: .68 и .56 соответственно ($t(28)=7.07$, $p<.000001$). Далее мы сравнили эти наборы частот с частотой .5, которая соответствует случайному угадыванию целевой фигуры при предшествующем правильном определении пары схожих с целевой фигур. Мы, таким образом, измеряем чистое экстрафовеальное распознавание *целевой* фигуры, если бы пара похожих на цель фигур уже известна. Результаты одновыборочного t-критерия по объединенной выборке таковы:

По второй серии среднее значение частот .56, $t(28)=1.47$, $p=.15$.

По девятой серии – .68, $t(28)=7.1$, $p<.000001$.

Результат показывает, что при запрете движений глаз задача распознавания цели в среднем решается испытуемыми успешно. При этом частота меньше .5 в девятой серии наблюдается только у двоих испытуемых, но другие двое испытуемых выполнили все 16 проб без движений глаз и ошиблись при этом лишь по одному разу. Определенный эффект тренировки подтверждается также результатами логистической регрессии по тренировочным сериям 3–8 с числом правильных ответов в пробе в качестве зависимой переменной и номером пробы в

качестве независимой. Процент правильных ответов увеличился от 3-й к 8-й сериям: регрессионный коэффициент равен .008 при $p=.000002$; значение метакритерия составило $D(29)=.41$ при $p=.00007$.

Возможность тренировки экстрафовеального восприятия была показана и в других исследованиях. Например, в работе Xiao и коллег (2008) была применена парадигма двойного обучения двум несвязанным задачам (различение контраста и различение ориентации), которые выполнялись в разных местах сетчатки. Результаты выявили существенный перенос производительности для задачи, решаемой в одной зоне сетчатки, на место выполнения второй задачи. Сходные выводы получены в работе Zhang и коллег (2010), которые обнаружили возможность переноса навыка различения ориентации на новое место сетчатки. Такой результат объясняется авторами как продукт взаимодействия фовеальной и периферической обработки, потенциально включающее в себя обучение посредством более центральных участков коры. Другим объяснением является статистическая природа процесса обучения, которая не предполагает прямой связи с мозговыми зонами, и на данный момент наличие конкретного нейроанатомического субстрата перцептивного обучения остается под вопросом (Sagi, 2011).

Исследования возможностей тренировки экстрафовеального восприятия проводились не только на тривиальных стимулах, но также для целых категорий – детерминант перцептивной классификации, что в рамках настоящей работы представляет большой интерес. В одной из работ Jüttner и Rentschler (2000) были выявлены различия в эффективности обучения в задачах на различение и категоризацию. Задача на различение предполагала необходимость отнести объект к одному из двух классов, а в задаче на категоризацию таких классов было три. В процессе тренировки решать задачу категоризации участники учили все три класса одновременно, а при тренировке в задаче различения они проходили три последовательных эксперимента, в которых учились попарно различать объекты каждого из трех классов (первого и второго, второго и третьего, первого и третьего). При обучении обеим задачам использовались и фовеальное, и

экстрафовеальное (удаленность стимулов на 3°) условия предъявления стимулов. Выяснилось, что в случае более простой задачи на различение эффективность быстро росла как в фовеальном, так и в экстрафовеальном условиях, тогда как в случае задачи на категоризацию качество решения повысилось лишь для фовеального условия, а в экстрафовеальном была ниже в 6 раз. Дополнительный эксперимент показал возможность переноса навыка решения задачи различения на задачу категоризации, однако, опять же, только для фовеального условия. Этот результат авторы объясняют тем, что в задаче различения есть всего одно измерение для анализа, и потому экстрафовеальной обработки достаточно, в то время как в задаче категоризации таких измерений несколько, и перцептивной размерности экстрафовеа не хватает. Авторы заключают, что трудности обучения категоризации стимулов, предъявляемых в экстрафовеа, можно преодолеть при помощи продолжительного обучения, поскольку на нейронном уровне категоризация осуществляется на более поздних этапах зрительной обработки.

Возвращаясь к результатам нашего исследования, можно заключить, что научение экстрафовеальному анализу фигур, во-первых, все же произошло (Dreeneva et al., 2019, 2021); во-вторых, при соответствующей инструкции экстрафовеальный анализ достаточно успешен; в-третьих, вероятно, в планировании саккад используется только грубое выделение похожей пары стимулов, а более тонкое выделение из пары собственно цели (возможность которого показывает девятая серия) при планировании саккад не проводится.

Выводы по исследованию 5

Результаты данного исследования позволяют заключить, что распознавание сложных геометрических фигур, а также уровень эффективности экстрафовеального анализа, не имеют прямой зависимости от образовательного профиля. Скорее, определенное влияние может иметь наличие соответствующего опыта работы с трехмерными объектами, знания и навыки в области изобразительного искусства и архитектуры.

Кроме того, было выявлено определенное научение экстрафовеальному анализу у большинства испытуемых, которое выражалось в большем числе правильных ответов во второй контрольной серии, по сравнению с первой.

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ СЕРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Серия собственных экспериментальных исследований показывает, что зрительный поиск категориально заданного объекта обеспечивается сложной функциональной системой, которая регулируется процессами восприятия, внимания и мышления. Каждый из перечисленных компонентов, в свою очередь, включает в себя более мелкие элементы и механизмы, каждый из которых также вносит свой вклад в итоговое решение задачи. Крайне важным фактором оказались установки по отношению к задаче, которые можно реконструировать по числу посещенных секторов, общему времени выполнения пробы и другим выделенным параметрам. Все перечисленные процессы влияли на процесс зрительного поиска геометрических фигур (Dreneva, Shvarts, Chumachenko, Krichevets, 2021).

В контексте закономерностей и механизмов работы восприятия, нам удалось подтвердить результаты других исследований относительно влияния ряда факторов. Например, нами и другими специалистами было показано, что фактор сходства цели и дистракторов довольно сильно влияет на параметры скорости и правильности ответа (Alexander, Zelinsky, 2011; Reingold, Glaholt, 2014), а в контексте наших исследований – также и на количество фиксации и числа посещенных секторов с фигурами (Кричевец и др., 2017; Дренёва и др., 2019). Совершенно логично, что чем сильнее выражена разница между целью и дистракторами, тем проще будет ее найти и тем меньше времени и саккад потребуется для решения поисковой задачи. Поскольку в наших экспериментах данный фактор контролировался, и в простом условии сильных различий между целью и дистракторами время ответа было меньше, а число фиксации на фигурах – минимальным (вплоть до их полного отсутствия), мы можем заключить, что на этапе планирования саккад первичная обработка осуществлялась параллельно по всему полю, что тесно связано с механизмом распределения внимания (Godjin, Theeuwes, 2003; Baldauf, Deubel, 2008), которое будет подробнее рассмотрено ниже.

Другим фактором, влияющим на процесс зрительного поиска, является пространственная ориентация стимулов. В контексте пространственных

характеристик объекта параметрами, определяющими время и точность ответа, могут выступать инверсия типичной пространственной ориентации (Enns, Shore, 1997), ее зеркальное отражение (Gregory, McCloskey, 2010), экологичность освещения стимулов (Ramachandran, 1988; Enns, Rensink, 1990), а также – что было показано и в наших исследованиях – прототипичность расположения стимулов или ее отсутствие (Rosch, 1975; Hershkowitz, 1989; Кричевец и др., 2017). Параметр прототипичности изображений геометрических фигур, репрезентирующих математические понятия, тесно связан с аспектом мышления, категоризацией (Yang, Zelinsky, 2009), вклад которой будет обсуждаться далее.

Возвращаясь к результатам собственных исследований, выделим еще один механизм восприятия – опора на особые «подсказки» – видимые «ключи» фигуры (Enns, Rensink, 1990, 1991; von Grunau, Dube, 1994). Данный фактор контролировался нами в третьем эксперименте, в котором призмы обеспечивали такую опору в форме видимого основания и потому различались гораздо легче пирамид, которые намеренно были такой подсказки лишены.

Фактор наличия или отсутствия такой опоры может быть рассмотрен как в контексте восприятия, так и в контексте мышления, по следующей причине. На основании результатов третьего четвертого и пятого экспериментов мы можем предполагать, что участники с невысоким уровнем владения навыком работы с трехмерными фигурами осуществляли чисто перцептивную обработку стимулов: если перцептивные ключи были явно представлены, задача решалась верно, но если их не было – такие испытуемые не могли достроить изображение до правильного в силу отсутствия знаний о свойствах сложных фигур. Такой тип работы с трехмерными стимулами может скорее определяться механизмами восприятия. В то же время, если у испытуемого навык работы с трехмерными объектами был относительно высоким, он мог работать с фигурами как с визуализированными математическими концептами, имеющими известные характеристики. В этом случае на первый план выходило схватывание опорных черт изображения в системных отношениях. Например, некоторые испытуемые сообщали, что при оценке пирамид они ориентировались на угол при вершине, который при разных

ракурсах выглядит по-разному: для определения величины угла необходима исходно неперцептивная операция коррекции углов сложных фигур в разных ракурсах, которая по мере получения соответствующего опыта могла принять более автоматизированный характер.

Другой группой факторов, влиявших на итоговый результат поиска, являются механизмы внимания. В рамках наших исследований были затронуты такие аспекты внимания, как скрытый и явный виды внимания, а также его параллельное распределение по всему зрительному полю. Скрытое внимание отчетливо наблюдалось в ситуации простых фигур и выраженных различий между целью и дистракторами (Treisman, Gormican, 1988; Кричевец и др., 2017). Форсированное, вынужденное использование участниками скрытого внимания можно было увидеть в четвертом и пятом экспериментах в специальных пробах с запретом на движения глаз из центра экрана. Нам удалось показать, что при строгом условии запрета на фовеальное изучение фигур внимание способно перемещаться от фигуры к фигуре, обеспечивая эффективность распознавания, сопоставимую с таковой в обычных пробах. Эта находка важна также тем, что она демонстрирует определенные когнитивные установки испытуемых: спустя некоторое количество проб у участников формировалась установка, что задача является крайне сложной и непременно требует тщательного фовеального изучения фигур. Эта установка была явным образом отражена в количестве зон, посещенных до целевой, превысившем число посещений при случайном угадывании. Установка на высокую сложность не позволяла полагаться на экстрафовеальный анализ даже испытуемым, успешно справлявшимся с задачей. В случае же запрета на движения глаз эффективность поиска не снижалась, что указывает на успешное функционирование скрытого внимания.

Параллельное распределение внимания между несколькими стимулами было с очевидностью продемонстрировано в первых экспериментах с простыми формами и контрастными фигурами: полное отсутствие саккад или единичная саккада в целевую зону указывают на быструю параллельную обработку всех

четырёх стимулов, предшествующую принятию решения о направлении следующей саккады.

Остановимся подробнее на этом количестве объектов – четырёх, которое тесно связано с таким феноменом, как субитизация, или сабитайзинг (subitizing) (Trick, Pylyshyn, 1993). Этот феномен заключается в том, что малое количество объектов (*до четырёх включительно*) может быть определено практически мгновенно, при этом не важно, сколько именно объектов было – один, два, три или четыре, – время ответа об их числе будет почти идентичным. В то же время каждый дополнительный объект начнет существенно увеличивать время ответа, что свидетельствует о вовлечении процесса другого рода – последовательного пересчета. В рамках наших исследований немаловажное значение может иметь тот факт, что число стимулов всегда равнялось четырем, и, возможно, именно это обеспечивало быструю параллельную обработку всех объектов на ранних этапах решения задачи. В связи с этим интересной представляется модификация наших экспериментов в виде увеличения числа объектов и анализ сходства тенденций.

Поскольку в наших экспериментах использовались геометрические фигуры, и в ряде случаев довольно сложные, мы можем говорить о вовлеченности мышления и в частности категоризации в процесс решения поисковой задачи. Другими словами, мы изучали обработку не только низкоуровневых перцептивных признаков объектов, но также анализ характеристик гораздо более высокого уровня, обеспечиваемого мыслительными операциями категоризации и навыком работы с соответствующими сложными стимулами. Влияние механизмов top-down на процесс восприятия было показано и в других работах (Rosenholtz, Huang, Ehinger, 2012). Например, на материале сцен реального мира (Cimminella, Della Sala, Cocco, 2020) выявлено, что семантика объектов обрабатывалась экстрафовеально и затем использовалась для управления программированием саккад в top-down-манере. Применительно к нашему исследованию, похожие результаты были получены Yang и Zelinsky (2009), которые показали, что задача поиска категориально заданного объекта среди изображений произвольных бытовых предметов может быть решена экстрафовеально.

На участие процессов мышления в задаче зрительного поиска указывает также снижение успешности выполнения по мере усложнения концептуальной сложности стимульных фигур. Знание основных свойств математических понятий и способность мысленно трансформировать, достроить 2D-изображение существенным образом влияли на эффективность решения задачи.

В некоторых пробах задачей испытуемого было найти прямоугольник, и таким прямоугольником в данном случае выступал квадрат. Повышенная сложность этих проб заключалась в том, что участникам необходимо было вспомнить, что квадрат является *непрототипической* разновидностью прямоугольника и отсеять остальные варианты потому, что они совершенно точно прямоугольниками не являлись. В этих пробах задача решалась дольше, чем в обычных, но при этом – что важно – не требовала дополнительных фиксаций, что отражает конфликт логического, а не перцептивного, плана между понятиями прямоугольника и квадрата. Иными словами, логические операции влияли на процесс принятия решения.

Наконец, отдельной группой факторов, определявших эффективность зрительного поиска, выступили индивидуальные особенности наших испытуемых, их когнитивные и перцептивные стратегии, а также ситуационная мотивация на выполнение задачи (Дренёва, 2020; Дренёва, Кричевец, 2021a). Такие тенденции согласуются с результатами других исследований (Gandini, Lemaire, Dufau, 2008; Fromer et al., 2015). В наших исследованиях уже в первом эксперименте с простыми формами мы показали, что часть испытуемых использовало «уверенную» стратегию, при которой ответ давался по экстрафовеальной догадке без фовеального подтверждения, а часть – «осторожную» стратегию, когда даже в простых случаях первоначальная догадка проверялась фовеально. Дальнейшее усложнение стимулов сместило некоторых испытуемых в сторону более «осторожной» стратегии, однако и в этом случае межиндивидуальные различия были четко выражены.

Эти различия наблюдались также при анализе динамики экстрафовеального анализа: некоторые испытуемые модифицировали степень и характер его

использования, меняя стратегию на более «уверенную», «экстрафовеальную»; некоторые (при общей успешности) его ухудшали и приходили к более «осторожной». Одни испытуемые могли более гибко пользоваться данными экстрафовеального анализа в зависимости от сложности и соотношения стимулов, другие могли сформировать единую стратегию и для сложных, и для простых стимулов, и использовали ее одинаково во всех пробах.

На наличие межиндивидуальных различий указывают также данные статистического анализа распределения значимостей. Во-первых, по некоторым испытуемым нами были получены значимости, выдерживающие поправку Бонферрони, которые характеризуют разнонаправленные тенденции. Во-вторых, были обнаружены кластеры значимостей, определяющих расходящиеся тенденции. В-третьих, с помощью визуализации эмпирической кумулятивной функции распределения (критерия Колмогорова-Смирнова) были выявлены группы участников, скорее использующих фовеальный анализ, и группы скорее полагающихся на данные экстрафовеального анализа.

Таким образом, результаты серии собственных исследований позволяют заключить, что категориально заданный зрительный поиск имеет сложную структуру и обеспечивается процессами разных типов и уровней. Процессы экстрафовеального и фовеального компонентов восприятия, внимания и мышления, а также их отдельные элементы и механизмы, формируют комплексную функциональную систему, звенья которой могут изменяться в зависимости от требований текущей ситуации, особенностей задачи и индивидуально-личностных особенностей субъекта.

ВЫВОДЫ

1. Результаты решения задач на материале выразительно различающихся между собой геометрических форм показали наличие эффективного экстрафовеального распознавания изображений у всех испытуемых. Те же тенденции обнаружены при решении относительно простых задач категориального поиска на материале двумерных геометрических фигур (прямоугольник, квадрат, ромб, параллелограмм). В этом случае глазодвигательная активность в значительной степени определяется нижним уровнем обработки информации – экстрафовеальным анализом стимулов, который оказывается вполне достаточным для решения задачи.
2. Серия исследований позволила обнаружить значительные межиндивидуальные различия при решении задач всех уровней сложности, отражающие зависимость применения экстрафовеального анализа при планировании саккад от индивидуальных особенностей испытуемых и их отношения к задаче и ситуации эксперимента. Межиндивидуальные различия проявились в использовании индивидуальных стратегий решения и разной степени вовлеченности экстрафовеального анализа в процессы программирования саккад.
3. В ситуации задач среднего и высокого уровней сложности наблюдается качественное различие в индивидуальных стратегиях, выражаемое в наличии или отсутствии роли экстрафовеального анализа в дальнейшем программировании саккад у конкретных испытуемых. Это различие определяется индивидуальными особенностями, отношением к задаче и ее спецификой.
4. Изменение инструкции, постулирующее запрет на движения глаз из центральной области, обнаруживает возможность использования экстрафовеального анализа даже теми испытуемыми и даже в тех пробах, где в свободных условиях он не применялся. Это позволяет сделать вывод о его принципиальной применимости и эффективности даже в задачах высокого уровня сложности, а также о возможности контроля механизмов первичной обработки в восприятии и категориальном поиске.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты серии экспериментальных исследований позволяют заключить, что процессы фовеального анализа, экстрафовеальной обработки и программирования саккад происходят параллельно, а также оказываются тесно связанными с процессами внимания и мышления. Перечисленные процессы сложным образом взаимодействуют между собой, а характер и динамика этого взаимодействия определяются, во-первых, внутренними факторами на уровне субъекта, такими как личностные особенности, его мотивация и индивидуальные стратегии, во-вторых, внешними параметрами, включающими специфику задачи, инструкции, стимулов, и, в-третьих, механизмами нижнего уровня, обеспечивающих автоматическую обработку визуальных характеристик.

В задачах невысокого уровня сложности с использованием достаточно простых математических понятий экстрафовеальный анализ является крайне эффективным и обеспечивающим быстрое решение, не требующее перевода выбранного объекта в зону фовеа. В условиях более сложных понятий экстрафовеальный анализ продуцирует гипотезу, догадку о местонахождении наиболее подходящего стимула, после чего саккада генерируется именно в эту область для проверки первичного предположения. В еще более сложных случаях, может формулироваться комплексная гипотеза, направленная сразу на несколько наиболее вероятных фигур для их последующего фовеального сопоставления. В крайне сложных задачах на категориальный поиск близких трехмерных фигур данных для экстрафовеального распознавания характерных признаков, указывающих на принадлежность к той или иной категории, недостаточно. В этом случае данные экстрафовеального анализа могут вовсе не учитываться и, следовательно, никоим образом не влиять на процессы программирования саккад: тогда перемещения взгляда планируются достаточно хаотично, поскольку возникает установка на необходимость фовеального анализа всех представленных стимулов, и порядок их просмотра оказывается несущественным.

В исследованиях было обнаружено очевидное влияние факторов дистрактора и пространственной ориентации стимулов, которое выражалось в увеличении

времени ответа и количества посещенных секторов, а также в снижении эффективности экстрафовеального анализа в более сложных условиях сходных с целью дистракторов и нестандартной пространственной ориентации фигур. Было также показано взаимодействие этих двух факторов.

Важной находкой серии исследований выступил анализ межиндивидуальных различий даже в процессах уровня первичной обработки зрительного поля. Эти различия проявились не только в большей или меньшей степени использования результатов экстрафовеального анализа изображений, но также в степени изменения самих стратегий решения задач, их количества, а также в наличии или отсутствии научения требуемым операциям в процессе прохождения эксперимента.

Специальные серии, в которых инструкцией вводился запрет на движения глаз, дали материал для глубокой дальнейшей проработки феномена экстрафовеального анализа, поскольку даже если он наблюдается не во всех ситуациях и не у всех испытуемых при свободной инструкции, он, тем не менее, все равно возможен. Перспектива дальнейших исследований затрагивает условия, поощряющие его использование, например, уже примененное нами ограничение перемещений взгляда, ограничение времени решения или предъявления стимулов. Исследование глазодвигательного поведения испытуемых в таких условиях поможет более полно изучить процессы экстрафовеального анализа зрительного поля и особенности его взаимодействия с другими системами перцепции, внимания и мышления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. В кн.: Принципы системной организации функций. / Под ред. П.К. Анохина. – М.: Наука, 1971. С. 5–61.
2. Барабанщикова В. В., Климова О.А., Ковалев А.И., Меньшикова Г.Я. Использование параметров глазодвигательной активности в диагностике синдрома эмоционального выгорания. / Организационная психология. – 2019. – Т. 9. – №. 4.
3. Величковский Б.М. От уровней обработки к стратификации познания. // Вопросы психологии, 1999. – №4. – С. 58-74.
4. Величковский Б.М. Когнитивная наука. Основы психологии познания. – М.: Академия, 2006. В 2 т.
5. Владимиров И. Ю., Чистопольская А. В. Регистрация движений глаз и когнитивный мониторинг как методы объективации процесса инсайтного решения // Experimental Psychology. – 2019. – Т. 12. – №. 1
6. Волкова Н. Н., Гусев А. Н. Как когнитивные стили влияют на точность и скорость обнаружения зрительного сигнала. / Вопросы психологии. – 2018. – №. 1. – С. 138-149.
7. Выготский Л.С. Мышление и речь: психологические исследования. М.; Л.: Гос. учеб.-пед. изд-во, 1934.
8. Гальперин П.Я. Психология мышления и учение о поэтапном формировании умственных действий. // Исследования мышления в советской психологии. М., 1966. С. 236–276.
9. Гальперин П.Я. К проблеме внимания // Доклады АПН РСФСР, 1958. №3. С. 33–38.
10. Гальперин П.Я., Кабыльницкая С.Л. Экспериментальное формирование внимания. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974.
11. Гиппенрейтер Ю.Б. Внимание и деятельность // Актуальные проблемы современной психологии. Материалы международной конференции. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. С.62–64.

12. Гиппенрейтер Ю.Б., Романов В.Я. Новый метод исследования внутренних форм зрительной активности // Вопросы психологии, 1970. №5. С. 36–52.
13. Гусев А. Н., Садовская Е. А. Влияние установок разного уровня на выраженность феномена слепота к изменению. / Психологические исследования: электронный научный журнал. – 2015. – Т. 8. – №. 40. – С. 9-9.
14. Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении: Логико-психологические проблемы построения учебных предметов. – М.: Педагогическое общество России, 2000.
15. Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении: Логико-психологические проблемы построения учебных предметов. М.: Педагогическое общество России, 2000.
16. Добрынин Н.Ф. Внимание // Большая Советская Энциклопедия // Т. – 1951. – Т. 8. – С. 294–295.
17. Добрынин Н.Ф. О теории и воспитании внимания // Советская педагогика, 1938. – №. 8. – С. 12–32.
18. Дренёва А.А. Категориальный поиск трехмерных фигур испытуемыми с разным уровнем математической экспертизы // Национальный психологический журнал, 2020. — № 1. — С. 57–65.
19. Дренёва А.А., Кричевец А.Н., Чумаченко Д.В., Шварц А.Ю. Что может быть воспринято экстрафовеально? // Материалы конференции 2017 “Когнитивная наука в Москве: новые исследования”. — БукиВеди, ИППиП Москва, 2017. — С. 94–98.
20. Дренёва А.А., Кричевец А.Н., Чумаченко Д.В., Шварц А.Ю. Спонтанная тренировка экстрафовеального анализа изображений объёмных геометрических тел // Восьмая международная конференция по когнитивной науке 18–21 октября 2018 г., Светлогорск, Россия. — Институт психологии РАН, 2018. — С. 346–348.

21. Дренёва А.А., Кричевец А.Н., Чумаченко Д.В., Шварц А.Ю. Экстрафовеальный анализ категориально заданных трехмерных фигур // Сибирский психологический журнал, 2019. – № 72. – С. 68–92.
22. Дренёва А.А., Кричевец А.Н. Анализ индивидуальных стратегий категориального зрительного поиска / Сенсорные системы, 2021а. — № 2. — С. 135–143.
23. Дренёва А.А., Кричевец А.Н. Возможности и ограничения экстрафовеального восприятия: аналитический обзор / Сибирский психологический журнал, 2021б. — № 81. — С. 79–106.
24. Зинченко П.И. (1961) Непроизвольное запоминание. М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР.
25. Кричевец А.Н., Шварц А.Ю., Чумаченко Д.В., Дренёва А.А. Возможности экстрафовеального восприятия геометрических фигур // Вопросы психологии, 2017. – №. 6. – С. 117–128.
26. Лакофф Дж. Женщины, огонь и опасные вещи: Что категории языка говорят нам о мышлении. – М.: Гнозис, 2011.
27. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. – Москва, 1975.
28. Леонтьев А.Н. Овладение учащимися научными понятиями как проблема педагогической психологии // Становление психологии деятельности: Ранние работы / под ред. А.А. Леонтьева, Д.А. Леонтьева, Е.Е. Соколовой. – М.: Смысл, 2003. С. 316–352.
29. Леонтьев А.Н. (1973-75/2000) Лекции по общей психологии. М.: Смысл.
30. Леонтьев А.Н. Мышление // Вопросы философии, 1964, № 4, с. 85–95.
31. Леонтьев А.Н. Психологические вопросы сознательности учения. // Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. – М.: Политиздат, 1975.
32. Ломов Б.Ф. Теоретические и методологические проблемы психологии. – М., 1984.
33. Меньшикова Г. Я., Пичугина А. О. Холистические процессы восприятия лица: метод айтрекинга // Экспериментальная психология. – 2020. – Т. 13. – №. 4. – С. 72-87.

34. Найссер У. (1981) Познание и реальность. – М.: Прогресс.
35. Романов В.Я. (1971) Фиксационный опто-кинетический нистагм как метод исследования зрительного внимания. Автореф. дисс. ... канд. психол. наук. – М.: Изд-во Моск. ун-та.
36. Рубинштейн С.Л. Мышление. Глава X. / Основы общей психологии. – СПб.: Питер, 2005
37. Рубинштейн С.Л. О мышлении и путях его исследования. – М., 1958.
38. Рубинштейн С.Л. Человек и мир. Бытие и сознание. Человек и мир. М.—СПб. и др.: «Питер», 2003. С. 281–426.
39. Фаликман М.В. Структура и динамика зрительного внимания при решении перцептивных задач: конструктивно-деятельностный подход // Дисс... доктора психологич. наук, 2016. – Т. 19. – №. 01.
40. Фаликман М. В., Печенкова Е. В. Принципы физиологии активности НА Бернштейна в психологии восприятия и внимания: проблемы и перспективы // Культурно-историческая психология. – 2016. – Т. 12. – №. 4. – С. 48-66.
41. Хрестоматия по истории математики. Арифметика и алгебра. Теория чисел. Геометрия / Под ред. А. П. Юшкевича. – М.: Просвещение, 1976
42. Ченки А. История отдельных направлений в лингвистике: современные, когнитивные подходы к семантике: сходства и различия в теориях и целях // Вопросы языкознания, 1996. – №. 2. – С. 68–78.
43. Шварц А.Ю. Роль чувственных представлений в овладении математическими понятиями: дисс. – Москва: МГУ, 2011.
44. Швырков В.Б. Системно-эволюционный подход к изучению мозга, психики и сознания // Психологический журнал, 1988. – Т. 9. – №. 1. – С. 132–148.
45. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. – М.: Наука, 1965.
46. Ahlstrom U., Friedman-Berg F.J. Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload // International Journal of Industrial Ergonomics, 2006. – Vol. 36. – №. 7. – P. 623-636.
47. Alexander R.G., Zelinsky G.J. Effects of part-based similarity on visual search: The Frankenbear experiment // Vision research, 2012. – Vol. 54. – P. 20-30.

48. Alexander R.G., Zelinsky G.J. Visual similarity effects in categorical search // *Journal of Vision*, 2011. – Vol. 11. – №. 8. – P. 9-9.
49. Anderson A.J., Carpenter R. H.S. The effect of stimuli that isolate S-cones on early saccades and the gap effect // *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 2008. – Vol. 275. – №. 1632. – P. 335-344.
50. Anderson A.J., Yadav H., Carpenter R. H. S. Directional prediction by the saccadic system // *Current biology*, 2008. – Vol. 18. – №. 8. – P. 614-618.
51. Anderson J. R., Montant M., Schmitt D. Rhesus monkeys fail to use gaze direction as an experimenter-given cue in an object-choice task // *Behavioural Processes*, 1996. – Vol. 37. – №. 1. – P. 47-55.
52. Apostle H. G. Aristotle's categories and propositions, 1980.
53. Aubert H. R., Foerster C. F. R. Beitrage zur Kenntnisse der indirecten Sehens [Translation: Contributions of knowledge to indirect vision] // *Graefes Archiv fur Ophthalmologie*. – 1857. – Vol. 3. – P. 1-37.
54. Austin J. H., Romney B. M., Goldsmith L. S. Missed bronchogenic carcinoma: radiographic findings in 27 patients with a potentially resectable lesion evident in retrospect // *Radiology*, 1992. – Vol. 182. – №. 1. – P. 115-122.
55. Awh E., Belopolsky A.V., Theeuwes J. Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy // *Trends in cognitive sciences*, 2012. – Vol. 16. – №. 8. – P. 437-443.
56. Baldauf D., Deubel H. Properties of attentional selection during the preparation of sequential saccades // *Experimental Brain Research*, 2008. – Vol. 184. – №. 3. – P. 411-425.
57. Barsalou L.W. Ideals, central tendency, and frequency of instantiation as determinants of graded structure in categories // *Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 1985. – Vol. 11. – №. 4. – P. 629.
58. Barsalou L.W. Perceptions of perceptual symbols // *Behavioral and brain sciences*, 1999. – Vol. 22. – №. 4. – P. 637-660.
59. Barsalou L.W., Huttenlocher J., Lamberts K. Basing categorization on individuals and events // *Cognitive Psychology*, 1998. – Vol. 36. – №. 3. – P. 203-272.

60. Barsalou L.W. Abstraction in perceptual symbol systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences*. 2003. Vol. 358. P. 1177-1187.
61. Bashinski H.S., Bacharach V.R. Enhancement of perceptual sensitivity as the result of selectively attending to spatial locations // *Perception & Psychophysics*, 1980. – Vol. 28. – №. 3. – P. 241-248.
62. Battig W.F., Montague W.E. Category norms of verbal items in 56 categories A replication and extension of the Connecticut category norms // *Journal of experimental Psychology*, 1969. – Vol. 80. – №. 3p2. – P. 1.
63. Beauchamp M.S. et al. A parametric fMRI study of overt and covert shifts of visuospatial attention // *Neuroimage*, 2001. – Vol. 14. – №. 2. – P. 310-321.
64. Beck D.M., Kastner S. Stimulus similarity modulates competitive interactions in human visual cortex // *Journal of Vision*, 2007. – Vol. 7. – №. 2. – P. 19-19.
65. Beck D.M., Kastner S. Top-down and bottom-up mechanisms in biasing competition in the human brain // *Vision research*, 2009. – Vol. 49. – №. 10. – P. 1154-1165.
66. Becker M.W., Pashler H., Lubin J. Object-intrinsic oddities draw early saccades // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2007. – Vol. 33. – №. 1. – P. 20.
67. Behets D. Comparison of visual information processing between preservice students and experienced physical education teachers // *Journal of Teaching in Physical Education*, 1996. – Vol. 16. – №. 1. – P. 79-87.
68. Benson V. A comparison of bilateral versus unilateral target and distractor presentation in the remote distractor paradigm // *Experimental Psychology*, 2008. – Vol. 55. – №. 5. – P. 334-341.
69. Biederman I. Human image understanding: Recent research and a theory // *Computer vision, graphics, and image processing*, 1985. – Vol. 32. – №. 1. – P. 29-73.
70. Bomba P.C., Siqueland E.R. The nature and structure of infant form categories // *Journal of Experimental Child Psychology*, 1983. – Vol. 35. – №. 2. – P. 294-328.

71. Bompas A., Sumner P. Sensory sluggishness dissociates saccadic, manual, and perceptual responses: An S-cone study // *Journal of Vision*, 2008. – Vol. 8. – №. 8. – P. 1-13.
72. Bompas A., Sumner P. Temporal dynamics of saccadic distraction // *Journal of Vision*, 2009. – Vol. 9. – №. 9. – P. 17.
73. Bonitz V.S., Gordon R.D. Attention to smoking-related and incongruous objects during scene viewing // *Acta psychologica*, 2008. – Vol. 129. – №. 2. – P. 255-263.
74. Botvinick M.M. et al. Conflict monitoring and cognitive control // *Psychological review*, 2001. – Vol. 108. – №. 3. – P. 624.
75. Bouma H. Interaction effects in parafoveal letter recognition // *Nature*, 1970. – Vol. 226. – №. 5241. – P. 177.
76. Bressler S.L. et al. Top-down control of human visual cortex by frontal and parietal cortex in anticipatory visual spatial attention // *Journal of Neuroscience*, 2008. – Vol. 28. – №. 40. – P. 10056-10061.
77. Briand K.A. Feature integration and spatial attention: More evidence of a dissociation between endogenous and exogenous orienting // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1998. – Vol. 24. – №. 4. – P. 1243.
78. Cajar A., Engbert R., Laubrock J. Spatial frequency processing in the central and peripheral visual field during scene viewing // *Vision Research*, 2016. – Vol. 127. – P. 186-197.
79. Cameron E.L., Tai J.C., Carrasco M. Covert attention affects the psychometric function of contrast sensitivity // *Vision research*, 2002. – Vol. 42. – №. 8. – P. 949-967.
80. Candes E. Theory of statistics [Электронный ресурс] / E. Candes, Theory of statistics, 2018. – Режим доступа: <http://statweb.stanford.edu/~candes/stats300c/Lectures/Lecture1.pdf>
81. Carmody D.P., Nodine C.F., Kundel H.L. Global and segmented search for lung nodules of different edge gradients // *Investigative Radiology*, 1980. – Vol. 15. – №. 3. – P. 224-233.

82. Carpenter R.H.S. A neural mechanism that randomises behaviour // *Journal of Consciousness Studies*, 1999. – Vol. 6. – №. 1. – P. 13-13.
83. Carpenter R.H.S. Contrast, probability, and saccadic latency: evidence for independence of detection and decision // *Current Biology*, 2004. – Vol. 14. – №. 17. – P. 1576-1580.
84. Carpenter R.H.S. Express saccades: is bimodality a result of the order of stimulus presentation? // *Vision Research*, 2001. – Vol. 41. – №. 9. – P. 1145-1151.
85. Carrasco M. et al. The eccentricity effect: Target eccentricity affects performance on conjunction searches // *Perception & Psychophysics*, 1995. – Vol. 57. – №. 8. – P. 1241-1261.
86. Carrasco M. *The Oxford handbook of attention*, 2014.
87. Carrasco M. Visual attention: The past 25 years // *Vision research*, 2011. – Vol. 51. – №. 13. – P. 1484-1525.
88. Carrasco M., Chang I. The interaction of objective and subjective organizations in a localization search task // *Perception & Psychophysics*, 1995. – Vol. 57. – №. 8. – P. 1134-1150.
89. Carrasco M., Frieder K.S. Cortical magnification neutralizes the eccentricity effect in visual search // *Vision Research*, 1997. – Vol. 37. – №. 1. – P. 63-82.
90. Carrasco M., Loula F., Ho Y.X. How attention enhances spatial resolution: Evidence from selective adaptation to spatial frequency // *Perception & Psychophysics*, 2006. – Vol. 68. – №. 6. – P. 1004-1012.
91. Carrasco M., Yeshurun Y. The contribution of covert attention to the set-size and eccentricity effects in visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1998. – Vol. 24. – №. 2. – P. 673.
92. Castelhana M.S., Pollatsek A., Cave K.R. Typicality aids search for an unspecified target, but only in identification and not in attentional guidance // *Psychonomic Bulletin & Review*, 2008. – Vol. 15. – №. 4. – P. 795-801.
93. Cattell J.M.K. The time it takes to see and name objects // *Mind*. – 1886. – Vol. 11. – №. 41. – P. 63-65.

94. Cavanagh J.F. et al. Eye tracking and pupillometry are indicators of dissociable latent decision processes // *Journal of Experimental Psychology: General*, 2014. – Vol. 143. – №. 4. – P. 1476.
95. Charness N. et al. The perceptual aspect of skilled performance in chess: Evidence from eye movements // *Memory & cognition*, 2001. – Vol. 29. – №. 8. – P. 1146-1152.
96. Chase W.G., Simon H.A. Skill in chess // *American Scientist*, 1973. – Vol. 61. – №. 4. – P. 394-403.
97. Chen X., Zelinsky G.J. Real-world visual search is dominated by top-down guidance // *Vision research*, 2006. – Vol. 46. – №. 24. – P. 4118-4133.
98. Chumachenko D., Shvarts A., Dreneva A. Individual differences in children's learning through eye-tracking experiment // *Journal of eye movement research*. — 2017. — Vol. 10, no. 6. — P. 204–204.
99. Chun M.M., Potter M.C. A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation // *Journal of Experimental psychology: Human perception and performance*, 1995. – Vol. 21. – №. 1. – P. 109.
100. Cimminella F., Della Sala S., Coco M. I. Extra-foveal Processing of Object Semantics Guides Early Overt Attention During Visual Search // *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2019. – P. 1-16.
101. Connor C.E., Egeth H.E., Yantis S. Visual attention: bottom-up versus top-down // *Current biology*, 2004. – Vol. 14. – №. 19. – P. R850-R852.
102. Corbetta M. et al. Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex // *Nature neuroscience*, 2000. – Vol. 3. – №. 3. – P. 292.
103. Corbetta M. Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural systems? // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998. – Vol. 95. – №. 3. – P. 831-838.
104. Corbetta M., Shulman G. L. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain // *Nature reviews neuroscience*, 2002. – Vol. 3. – №. 3. – P. 201.

105. Corbetta M., Shulman G. L. Control Neisser U. Cognitive Psychology New York: Appleton-Century-Crofts // Google Scholar, 1967.
106. Corbetta M., Shulman G. L. Human cortical mechanisms of visual attention during orienting and search // Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 1998. – Vol. 353. – №. 1373. – P. 1353-1362.
107. Craighero L., Rizzolatti G. The premotor theory of attention // Neurobiology of attention, 2005. – P. 181-186.
108. Crick F. Function of the thalamic reticular complex: the searchlight hypothesis // Proceedings of the National Academy of Sciences, 1984. – Vol. 81. – №. 14. – P. 4586-4590.
109. De Groot A.D. Thought and choice in chess (Revised translation of De Groot, 1946 // The Hague: Mouton Publishers, 1978.
110. De Groot A.D. Thought and choice in chess // Mouton, The Hague, The Netherlands, 1965.
111. De Valois R.L., De Valois K.K. Spatial vision // Annual review of psychology, 1980. – Vol. 31. – №. 1. – P. 309-341.
112. Desimone R., Duncan J. Neural mechanisms of selective visual attention // Annual review of neuroscience, 1995. – Vol. 18. – №. 1. – P. 193-222.
113. DeSouza J.F.X., Menon R.S., Everling S. Preparatory set associated with pro-saccades and anti-saccades in humans investigated with event-related fMRI // Journal of Neurophysiology, 2003. – Vol. 89. – №. 2. – P. 1016-1023.
114. Deubel H. The time course of presaccadic attention shifts // Psychological research, 2008. – Vol. 72. – №. 6. – P. 630.
115. Deubel H., Schneider W.X. Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism // Vision research, 1996. – Vol. 36. – №. 12. – P. 1827-1837.
116. Dore-Mazars K., Pouget P., Beauvillain C. Attentional selection during preparation of eye movements // Psychological research, 2004. – Vol. 69. – №. 1-2. – P. 67-76.

117. Dorris M.C., Olivier E., Munoz D.P. Competitive integration of visual and preparatory signals in the superior colliculus during saccadic programming // *Journal of Neuroscience*, 2007. – Vol. 27. – №. 19. – P. 5053-5062.
118. Dos Santos R.O.J. et al. Eye tracking in neuromarketing: a research agenda for marketing studies // *International Journal of Psychological Studies*, 2015. – Vol. 7. – №. 1. – P. 32.
119. Doshier B.A., Lu Z.L. Noise exclusion in spatial attention // *Psychological Science*, 2000. – Vol. 11. – №. 2. – P. 139-146.
120. Dreher A., Kuntze S. Teachers' professional knowledge and noticing: The case of multiple representations in the mathematics classroom // *Educational Studies in Mathematics*, 2015. – Vol. 88. – №. 1. – P. 89-114.
121. Dreneva A., Chernova U., Ermolova M., MacInnes J. M. Attention Trade-Off for Localization and Saccadic Remapping // *Vision*, 2021. – Vol. 5. – №. 2. – P. 24.
122. Dreneva A., Shvarts A., Chumachenko D., Krichevets A. Extrafoveal Processing in Categorical Search for Geometric Shapes: General Tendencies and Individual Variations // *Cognitive Science*, 2021. – Vol. 45. – №. 8. – P. e13025.
123. Dreneva A., Chumachenko D., Krichevets A., Shvarts A. Extrafoveal perception of three-dimensional shapes // *XVI European Congress of Psychology (ECP 2019) (2–5 July, 2019, Lomonosov Moscow State University, Moscow)*. — Moscow: Moscow University Press, 2019. — P. 883–884.
124. Dreneva A., Chumachenko D., Krichevets A., Shvarts A. Extrafoveal perception of complex stereometric shapes in novices and experts // *XX European Conference on Eye Movements (ECEM 2019) (18-22 August, Alicante, Spain)*. — P. 165–165.
125. Dubinsky E. Mathematical literacy and abstraction in the 21st century // *School Science and Mathematics*. 2000a. Vol. 100. No. 6. P. 289-297.
126. Dubinsky E. McDonald M. APOS: A Constructivist Theory of Learning in Undergraduate Mathematics Education Research. // *The teaching and Learning of Mathematics at University Level: An ICMI Study*. / D. Holton et al. (Eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers., 2001.

127. Dubinsky E. Reflective abstraction in advanced mathematical thinking. // *Advanced mathematical thinking.* / Ed. D. Tall, Boston: Kluwer, 1991. P. 95-126.
128. Duncan J., Humphreys G. W. Visual search and stimulus similarity // *Psychological review*, 1989. – Vol. 96. – №. 3. – P. 433.
129. Duque A., Vázquez C. Double attention bias for positive and negative emotional faces in clinical depression: Evidence from an eye-tracking study // *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 2015. – Vol. 46. – P. 107-114.
130. Duval R. Cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. // *Educational Studies in Mathematics*. 2006. Vol.61. P. 103-131.
131. Duval R. The cognitive analysis of problems of comprehension in the learning of mathematics. // *Mediterranean Journal for Research in Mathematics Education*. 2002. Vol. 1. No. 2. P. 1-16.
132. Eckstein M.P. The lower visual search efficiency for conjunctions is due to noise and not serial attentional processing // *Psychological Science*, 1998. – Vol. 9. – №. 2. – P. 111-118.
133. Eckstein M.P., Lago M.A., Abbey C.K. The role of extra-foveal processing in 3D imaging // *Medical Imaging 2017: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment.* – International Society for Optics and Photonics, 2017. – Vol. 10136. – P. 101360E.
134. Edelman J.A., Kristjánsson Á., Nakayama K. The influence of object-relative visuomotor set on express saccades // *Journal of Vision*, 2007. – Vol. 7. – №. 6. – P. 12.
135. Egeth H.E. Parallel versus serial processes in multidimensional stimulus discrimination // *Perception & Psychophysics*, 1966. – Vol. 1. – №. 4. – P. 245-252.
136. Eimer M. The neural basis of attentional control in visual search // *Trends in Cognitive Sciences*, 2014. – Vol. 18. – №. 10. – P. 526-535.
137. Elia, I., Gagatsis, A., Panaoura, A., Zachariades, T., & Zoulinaki, F. Geometric and algebraic approaches in the concept of limit and the impact of the "didactic

- contract". *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2009. Vol. 7. No. 4. P. 765-790.
138. Emery N.J. et al. Gaze following and joint attention in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) // *Journal of comparative psychology*, 1997. – Vol. 111. – №. 3. – P. 286.
139. Enns J.T., Rensink R.A. Preattentive recovery of three-dimensional orientation from line drawings // *Psychological Review*, 1991. – Vol. 98. – №. 3. – P. 335.
140. Enns J.T., Rensink R.A. Sensitivity to three-dimensional orientation in visual search // *Psychological Science*, 1990. – Vol. 1. – №. 5. – P. 323-326.
141. Enns J.T., Shore D.I. Separate influences of orientation and lighting in the inverted-face effect // *Perception & Psychophysics*, 1997. – Vol. 59. – №. 1. – P. 23-31.
142. Ericsson K.A., Charness N. Expert performance: Its structure and acquisition // *American psychologist*, 1994. – Vol. 49. – №. 8. – P. 725.
143. Everling S. et al. Role of primate superior colliculus in preparation and execution of anti-saccades and pro-saccades // *Journal of Neuroscience*, 1999. – Vol. 19. – №. 7. – P. 2740-2754.
144. Everling S., Munoz D. P. Neuronal correlates for preparatory set associated with pro-saccades and anti-saccades in the primate frontal eye field // *Journal of Neuroscience*, 2000. – Vol. 20. – №. 1. – P. 387-400.
145. Falikman M. Word superiority effects across the varieties of attention // *J. Of Russian and East European Psychology*. — 2011. — Vol. 49, no. 5. — P. 45–61.
146. Fernandez-Duque D., Johnson M.L. Cause and effect theories of attention: The role of conceptual metaphors // *Review of general psychology*, 2002. – Vol. 6. – №. 2. – P. 153.
147. Fernandez-Duque D., Johnson M.L. Attention metaphors: How metaphors guide the cognitive psychology of attention // *Cognitive science*, 1999. – Vol. 23. – №. 1. – P. 83-116.
148. Findlay J.M., Gilchrist I.D. *Active vision: The psychology of looking and seeing*. – Oxford University Press, 2003. – №. 37.
149. Findlay J.M., Gilchrist I.D. *Visual attention: The active vision perspective* // *Vision and attention*. – Springer, New York, NY, 2001. – P. 83-103.

150. Findlay J.M., Walker R. A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition // Behavioral and Brain Sciences, 1999. – Vol. 22. – №. 4. – P. 661-674.
151. Firestone C., Scholl B.J. Cognition does not affect perception: Evaluating the evidence for "top-down" effects // Behavioral and brain sciences, 2016. – Vol. 39.
152. Fischer B., Boch R. Saccadic eye movements after extremely short reaction times in the monkey // Brain research, 1983. – Vol. 260. – №. 1. – P. 21-26.
153. Fischer B., Fischer B., Ramsperger E. Human express saccades: extremely short reaction times of goal directed eye movements // Experimental Brain Research, 1984. – Vol. 57. – №. 1. – P. 191-195.
154. Frömer R. et al. Are individual differences in reading speed related to extrafoveal visual acuity and crowding? // PloS one, 2015. – Vol. 10. – №. 3. – P. e0121986.
155. Gagatsis A., Shiakalli, M. Ability to Translate from One Representation of the Concept of Function to Another and Mathematical Problem Solving. Educational Psychology 2004. Vol. 24. No. 5. P 645-657.
156. Gale A.G. et al. Reporting in a flash // Br J Radiol, 1990. – Vol. 63. – №. 5. – P. 71.
157. Gandini D., Lemaire P., Dufau S. Older and younger adults' strategies in approximate quantification // Acta psychologica, 2008. – Vol. 129. – №. 1. – P. 175-189.
158. Gass J.D.M. Müller cell cone, an overlooked part of the anatomy of the fovea centralis: hypotheses concerning its role in the pathogenesis of macular hole and foveomacular retinoschisis // Archives of Ophthalmology, 1999. – Vol. 117. – №. 6. – P. 821-823.
159. Gaymard B. et al. The parieto-collicular pathway: anatomical location and contribution to saccade generation // European Journal of Neuroscience, 2003. – Vol. 17. – №. 7. – P. 1518-1526.
160. Geisler W.S., Chou K.L. Separation of low-level and high-level factors in complex tasks: visual search // Psychological review, 1995. – Vol. 102. – №. 2. – P. 356.

161. Geisler W.S., Cormack L.K. Models of overt attention // Oxford handbook of eye movements, 2011. – P. 439-454.
162. Gelman S.A., Wellman H.M. Insides and essences: Early understandings of the non-obvious // Cognition, 1991. – Vol. 38. – №. 3. – P. 213-244.
163. Gentner D., Stevens A.L. (ed.). Mental models. – Psychology Press, 2014.
164. Gheri C., Morgan M.J., Solomon J. A. The relationship between search efficiency and crowding // Perception, 2007. – Vol. 36. – №. 12. – P. 1779-1787.
165. Gibson J.J. The senses considered as perceptual systems, 1966.
166. Giesbrecht B., Bischof W.F., Kingstone A. Visual masking during the attentional blink: Tests of the object substitution hypothesis // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2003. – Vol. 29. – №. 1. – P. 238.
167. Giordano A.M., McElree B., Carrasco M. On the automaticity and flexibility of covert attention: A speed-accuracy trade-off analysis // Journal of Vision, 2009. – Vol. 9. – №. 3. – P. 30-30.
168. Gobet F., Simon H. A. Five seconds or sixty? Presentation time in expert memory // Cognitive Science, 2000. – Vol. 24. – №. 4. – P. 651-682.
169. Gobet F., Simon H.A. Recall of rapidly presented random chess positions is a function of skill // Psychonomic Bulletin & Review, 1996. – Vol. 3. – №. 2. – P. 159-163.
170. Godijn R., Theeuwes J. Parallel allocation of attention prior to the execution of saccade sequences // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2003. – Vol. 29. – №. 5. – P. 882.
171. Godijn R., Theeuwes J. Programming of endogenous and exogenous saccades: evidence for a competitive integration model // Journal of experimental psychology: human perception and performance, 2002. – Vol. 28. – №. 5. – P. 1039.
172. Godijn R., Theeuwes J. The relationship between exogenous and endogenous saccades and attention // The Mind's Eye, 2003. – P. 3-26.
173. Grady J. Foundations of meaning: Primary metaphors and primary scenes, 1997.

174. Greenwald A.G. Evidence of both perceptual filtering and response suppression for rejected messages in selective attention // *Journal of Experimental Psychology*, 1972. – Vol. 94. – №. 1. – P. 58.
175. Greenwood J.A. et al. Variations in crowding, saccadic precision, and spatial localization reveal the shared topology of spatial vision // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017. – Vol. 114. – №. 17. – P. E3573-E3582.
176. Gregory E., McCloskey M. Mirror-image confusions: Implications for representation and processing of object orientation // *Cognition*, 2010. – Vol. 116. – №. 1. – P. 110-129.
177. Guillery R.W. Anatomical evidence concerning the role of the thalamus in corticocortical communication: a brief review // *Journal of anatomy*, 1995. – Vol. 187. – №. Pt 3. – P. 583.
178. Hallett P.E. Primary and secondary saccades to goals defined by instructions // *Vision research*, 1978. – Vol. 18. – №. 10. – P. 1279-1296.
179. Hampton J.A. An investigation of the nature of abstract concepts // *Memory & cognition*, 1981. – Vol. 9. – №. 2. – P. 149-156.
180. Harvey B.M., Dumoulin S.O. The relationship between cortical magnification factor and population receptive field size in human visual cortex: constancies in cortical architecture // *Journal of Neuroscience*, 2011. – Vol. 31. – №. 38. – P. 13604-13612.
181. Hein E., Rolke B., Ulrich R. Visual attention and temporal discrimination: Differential effects of automatic and voluntary cueing // *Visual Cognition*, 2006. – Vol. 13. – №. 1. – P. 29-50.
182. Hein E., Rolke B., Ulrich R. Visual attention and temporal discrimination: Differential effects of automatic and voluntary cueing // *Visual Cognition*, 2006. – Vol. 13. – №. 1. – P. 29-50.
183. Henderson J.M. Human gaze control during real-world scene perception // *Trends in cognitive sciences*, 2003. – Vol. 7. – №. 11. – P. 498-504.

184. Henderson J.M., Hollingworth A. The role of fixation position in detecting scene changes across saccades // *Psychological Science*, 1999. – Vol. 10. – №. 5. – P. 438-443.
185. Henderson J.M., Pollatsek A., Rayner K. Covert visual attention and extrafoveal information use during object identification // *Perception & psychophysics*, 1989. – Vol. 45. – №. 3. – P. 196-208.
186. Henderson J.M., Weeks Jr P. A., Hollingworth A. The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing // *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 1999. – Vol. 25. – №. 1. – P. 210.
187. Hershkowitz R. Visualization in Geometry--Two Sides of the Coin // *Focus on learning problems in mathematics*, 1989. – Vol. 11. – P. 61-76.
188. Hochstein S., Ahissar M. View from the top: Hierarchies and reverse hierarchies in the visual system // *Neuron*, 2002. – Vol. 36. – №. 5. – P. 791-804.
189. Hoffman J.E., Subramaniam B. The role of visual attention in saccadic eye movements // *Perception & psychophysics*, 1995. – Vol. 57. – №. 6. – P. 787-795.
190. Hoffman J.E., Subramaniam B. The role of visual attention in saccadic eye movements // *Perception & psychophysics*, 1995. – Vol. 57. – №. 6. – P. 787-795.
191. Holmqvist K. et al. Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. – OUP Oxford, 2011.
192. Holzman P.S., Proctor L.R., Hughes D.W. Eye-tracking patterns in schizophrenia // *Science*, 1973. – Vol. 181. – №. 4095. – P. 179-181.
193. Hueck A. Über die Grenzen des Sehvermögens // *Müllers Archiv für Anatomie, Physiologie und Wissenschaftliche Medizin*. – 1840. – Vol. 1840. – P. 82-97.
194. Ingle D. Focal attention in the frog: behavioral and physiological correlates // *Science*, 1975. – Vol. 188. – №. 4192. – P. 1033-1035.
195. Itti L., Koch C., Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis // *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 1998. – Vol. 20. – №. 11. – P. 1254-1259.

196. Iwasaki M., Inomata H. Relation between superficial capillaries and foveal structures in the human retina // *Investigative ophthalmology & visual science*, 1986. – Vol. 27. – №. 12. – P. 1698-1705.
197. James W. *The Principles of Psychology*. – 1890. – Vol. 2. – P. 94.
198. Jankowski J. et al. Towards the tradeoff between online marketing resources exploitation and the user experience with the use of eye tracking // *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2016. – P. 330-343.
199. Jarodzka H. et al. In the eyes of the beholder: How experts and novices interpret dynamic stimuli // *Learning and Instruction*, 2010. – Vol. 20. – №. 2. – P. 146-154.
200. Ji L., Chen W., Fu X. Different roles of foveal and extrafoveal vision in ensemble representation for facial expressions // *International conference on engineering psychology and cognitive ergonomics*. – Springer, Cham, 2014. – P. 164-173.
201. Just M.A., Carpenter P.A. A theory of reading: From eye fixations to comprehension // *Psychological review*, 1980. – Vol. 87. – №. 4. – P. 329.
202. Jüttner M., Rentschler I. Scale-invariant superiority of foveal vision in perceptual categorization // *European Journal of Neuroscience*, 2000. – Vol. 12. – №. 1. – P. 353-359.
203. Kahneman D., Treisman A. Changing views of attention and automaticity. in r. parasuraman & dr davies (eds.), *Varieties of attention* (pp. 29-61), 1984.
204. Kalesnykas R.P., Hallett P.E. Retinal eccentricity and the latency of eye saccades // *Vision research*, 1994. – Vol. 34. – №. 4. – P. 517-531.
205. Kano F., Call J. Great apes generate goal-based action predictions: An eye-tracking study // *Psychological Science*, 2014. – Vol. 25. – №. 9. – P. 1691-1698.
206. Keil F.C. *Concepts, kinds, and cognitive development*. – mit Press, 1992.
207. Kitterle F.L. Psychophysics of lateral tachistoscopic presentation // *Brain and Cognition*, 1986. – Vol. 5. – №. 2. – P. 131-162.
208. Klein R.M. *On the Control of Visual Orienting*, 2004.

209. Knapp A.G., Anderson J.A. Theory of categorization based on distributed memory storage // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1984. – Vol. 10. – №. 4. – P. 616.
210. Kolb H., Fernandez E., Nelson R. *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*. John Moran Eye Center, University of Utah, 2011.
211. Kopecz K. Saccadic reaction times in gap/overlap paradigms: A model based on integration of intentional and visual information on neural, dynamic fields // *Vision research*, 1995. – Vol. 35. – №. 20. – P. 2911-2925.
212. Kowler E. et al. The role of attention in the programming of saccades // *Vision research*, 1995. – Vol. 35. – №. 13. – P. 1897-1916.
213. Krantz J.H. Chapter 3: The stimulus and anatomy of the visual system // *Experiencing Sensation and Perception*. Pearson Education. ISBN, 2012. – P. 978.
214. Krause F. et al. Interaction between numbers and size during visual search // *Psychological research*, 2017. – Vol. 81. – №. 3. – P. 664-677.
215. Krichevets A., Chumachenko D., Dreneva A., Shvarts A. Extrafoveal perception of geometric shapes in adults and children // *Journal of eye movement research*. — 2017. — Vol. 10, no. 6. — P. 187–187.
216. Kristjánsson Á. The intriguing interactive relationship between visual attention and saccadic eye movements // *Oxford handbook of eye movements*. Oxford University Press, Oxford, 2011. – P. 455-470.
217. Kristjánsson Á., Nakayama K. A primitive memory system for the deployment of transient attention // *Perception & Psychophysics*, 2003. – Vol. 65. – №. 5. – P. 711-724.
218. Kristjánsson Á., Sigurdardottir H.M. On the benefits of transient attention across the visual field // *Perception*, 2008. – Vol. 37. – №. 5. – P. 747-764.
219. Kundel H.L., Nodine C.F. Interpreting chest radiographs without visual search // *Radiology*, 1975. – Vol. 116. – №. 3. – P. 527-532.
220. Kundel H.L., Nodine C.F., Carmody D. Visual scanning, pattern recognition and decision-making in pulmonary nodule detection // *Investigative radiology*, 1978. – Vol. 13. – №. 3. – P. 175-181.

221. Kustov A.A., Robinson D.L. Shared neural control of attentional shifts and eye movements // *Nature*, 1996. – Vol. 384. – №. 6604. – P. 74.
222. Lakatos I. Falsification and the methodology of scientific research programmes // *Can theories be refuted?* – Springer, Dordrecht, 1976. – P. 205-259.
223. Lakatos I. Methodology of Scientific-Research Programs // *VOPROSY FILOSOFII*, 1995. – №. 4. – P. 135-154.
224. Lakoff G.J., Johnson M.M. *Metaphors We Live By* // ChicagoLondon: University of ChicagoPress, 1985.
225. Lakoff G., Núñez R.E. *Conceptual metaphor in mathematics*, 1998.
226. Lakoff G., Núñez R. *Where mathematics comes from: how the embodied mind brings mathematics into being*. New York: Basic Books, 2000. P. 337-383.
227. Leach J. C.D., Carpenter R.H.S. Saccadic choice with asynchronous targets: evidence for independent randomisation // *Vision research*, 2001. – Vol. 41. – №. 25-26. – P. 3437-3445.
228. Lettvin J.Y. et al. What the frog's eye tells the frog's brain // *Proceedings of the IRE*, 1959. – Vol. 47. – №. 11. – P. 1940-1951.
229. Lettvin J.Y. On seeing sidelong // *The Sciences*, 1976. – Vol. 16. – №. 4. – P. 10-20.
230. Levi D.M. Crowding—An essential bottleneck for object recognition: A mini-review // *Vision research*, 2008. – Vol. 48. – №. 5. – P. 635-654.
231. Levi D.M. et al. Vernier acuity, crowding and cortical magnification // *Vision research*, 1985. – Vol. 25. – №. 7. – P. 963-977.
232. Levy-Schoen A. Determination and latency of oculo-motor response to simultaneous and successive stimuli according to their relative eccentricity // *L'Année Psychologique*, 1969.
233. Ling S., Carrasco M. Sustained and transient covert attention enhance the signal via different contrast response functions // *Vision research*, 2006. – Vol. 46. – №. 8-9. – P. 1210-1220.

234. Liu T., Larsson J., Carrasco M. Feature-based attention modulates orientation-selective responses in human visual cortex // *Neuron*, 2007. – Vol. 55. – №. 2. – P. 313-323.
235. Liu T., Stevens S.T., Carrasco M. Comparing the time course and efficacy of spatial and feature-based attention // *Vision research*, 2007. – Vol. 47. – №. 1. – P. 108-113.
236. Logan G.D., Bundesen C. Clever homunculus: Is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2003. – Vol. 29. – №. 3. – P. 575.
237. Loschky L.C. et al. The importance of information localization in scene gist recognition // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2007. – Vol. 33. – №. 6. – P. 1431.
238. Lovejoy L.P., Krauzlis R.J. Inactivation of primate superior colliculus impairs covert selection of signals for perceptual judgments // *Nature neuroscience*, 2010. – Vol. 13. – №. 2. – P. 261.
239. Luck S.J. et al. Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex // *Journal of neurophysiology*, 1997. – Vol. 77. – №. 1. – P. 24-42.
240. Ludwig C.J. H., Gilchrist I.D. The relative contributions of luminance contrast and task demands on saccade target selection // *Vision research*, 2006. – Vol. 46. – №. 17. – P. 2743-2748.
241. Lynch J.C., Tian J.R. Cortico-cortical networks and cortico-subcortical loops for the higher control of eye movements // *Progress in brain research*, 2006. – Vol. 151. – P. 461-501.
242. Macé M.J.M. et al. The time-course of visual categorizations: you spot the animal faster than the bird // *PloS one*, 2009. – Vol. 4. – №. 6. – P. e5927.
243. Mann D.T.Y. et al. Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis // *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2007. – Vol. 29. – №. 4. – P. 457-478.
244. Marr D. *Vision: A computational investigation into.* – WH Freeman, 1982.

245. Marrocco R.T., Davidson M.C. Neurochemistry of attention, 1998.
246. McAlonan K., Cavanaugh J., Wurtz R. H. Guarding the gateway to cortex with attention in visual thalamus // *Nature*, 2008. – Vol. 456. – №. 7220. – P. 391.
247. McCloskey M.E., Glucksberg S. Natural categories: Well defined or fuzzy sets? // *Memory & Cognition*, 1978. – Vol. 6. – №. 4. – P. 462-472.
248. Medin D.L., Schaffer M.M. Context theory of classification learning // *Psychological review*, 1978. – Vol. 85. – №. 3. – P. 207.
249. Medin D.L., Schwanenflugel P.J. Linear separability in classification learning // *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 1981. – Vol. 7. – №. 5. – P. 355.
250. Medin D.L., Rips L.J. Concepts and categories: Memory, meaning, and metaphysics // *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*, 2005. – P. 37-72.
251. Monsell S., Driver J. (ed.). Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII. – MIT Press, 2000. – Vol. 18.
252. Montagna B., Pestilli F., Carrasco M. Attention trades off spatial acuity // *Vision research*, 2009. – Vol. 49. – №. 7. – P. 735-745.
253. Montaser-Kouhsari L., Carrasco M. Perceptual asymmetries are preserved in short-term memory tasks // *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2009. – Vol. 71. – №. 8. – P. 1782-1792.
254. Moore T., Armstrong K.M., Fallah M. Visuomotor origins of covert spatial attention // *Neuron*, 2003. – Vol. 40. – №. 4. – P. 671-683.
255. Moore T., Fallah M. Control of eye movements and spatial attention // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2001. – Vol. 98. – №. 3. – P. 1273-1276.
256. Moray N. Attention: Selective processes in vision and hearing. – Routledge, 2017.
257. Mugglestone M.D. et al. Diagnostic performance on briefly presented mammographic images // *Medical Imaging 1995: Image Perception*. – International Society for Optics and Photonics, 1995. – Vol. 2436. – P. 106-116.

258. Mühlenbeck C. et al. Gaze duration biases for colours in combination with dissonant and consonant sounds: a comparative eye-tracking study with orangutans // *PloS one*, 2015. – Vol. 10. – №. 10. – P. e0139894.
259. Munoz D.P. et al. On your mark, get set: brainstem circuitry underlying saccadic initiation // *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 2000. – Vol. 78. – №. 11. – P. 934-944.
260. Munoz D.P., Everling S. Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement // *Nature Reviews Neuroscience*, 2004. – Vol. 5. – №. 3. – P. 218.
261. Munoz D.P., Fecteau J.H. Vying for dominance: dynamic interactions control visual fixation and saccadic initiation in the superior colliculus // *Progress in brain research*. – Elsevier, 2002. – Vol. 140. – P. 3-19.
262. Munoz D.P., Wurtz R.H. Role of the rostral superior colliculus in active visual fixation and execution of express saccades // *Journal of Neurophysiology*, 1992. – Vol. 67. – №. 4. – P. 1000-1002.
263. Murphy G.L. *The Big Book of Concepts* (Bradford Books), 2002.
264. Murphy G.L., Medin D.L. The role of theories in conceptual coherence // *Psychological review*, 1985. – Vol. 92. – №. 3. – P. 289.
265. Nakayama K., Mackeben M. Sustained and transient components of focal visual attention // *Vision research*, 1989. – Vol. 29. – №. 11. – P. 1631-1647.
266. Nako R., Grubert A., Eimer M. Category-based guidance of spatial attention during visual search for feature conjunctions // *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 2016. – Vol. 42. – №. 10. – P. 1571.
267. Neisser U. Decision-time without reaction-time: Experiments in visual scanning // *The American Journal of Psychology*, 1963. – Vol. 76. – №. 3. – P. 376-385.
268. Nobre A.C. et al. Covert visual spatial orienting and saccades: overlapping neural systems // *Neuroimage*, 2000. – Vol. 11. – №. 3. – P. 210-216.
269. Nodine C.F., Kundel H.L. The cognitive side of visual search in radiology // *Eye Movements from Physiology to Cognition*, 1987. – P. 573-582.

270. Nosofsky R.M. Similarity, frequency, and category representations // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1988. – Vol. 14. – №. 1. – P. 54.
271. Núñez R. Lakoff, G. What did Weierstrass really define? The cognitive structure of natural and epsilon-delta continuity. // *Mathematical Cognition*. 1998. Vol. 4. No. 2. P. 85-101.
272. Ostrovsky Y., Cavanagh P., Sinha P. Perceiving illumination inconsistencies in scenes // *Perception*, 2005. – Vol. 34. – №. 11. – P. 1301-1314.
273. Palmer J., Verghese P., Pavel M. The psychophysics of visual search // *Vision research*, 2000. – Vol. 40. – №. 10-12. – P. 1227-1268.
274. Pashler H.E. *Selective attention*, 1998.
275. Pentland A. Shading into texture // *Artificial Intelligence*, 1986. – Vol. 29. – №. 2. – P. 147-170.
276. Pestilli F., Carrasco M. Attention enhances contrast sensitivity at cued and impairs it at uncued locations // *Vision research*, 2005. – Vol. 45. – №. 14. – P. 1867-1875.
277. Peterson M.S., Kramer A.F., Irwin D.E. Covert shifts of attention precede involuntary eye movements // *Perception & psychophysics*, 2004. – Vol. 66. – №. 3. – P. 398-405.
278. Pierce K. et al. Eye tracking reveals abnormal visual preference for geometric images as an early biomarker of an autism spectrum disorder subtype associated with increased symptom severity // *Biological psychiatry*, 2016. – Vol. 79. – №. 8. – P. 657-666.
279. Polat U., Sagi D. Lateral interactions between spatial channels: suppression and facilitation revealed by lateral masking experiments // *Vision research*, 1993. – Vol. 33. – №. 7. – P. 993-999.
280. Poletti M., Rucci M., Carrasco M. Selective attention within the foveola // *Nature neuroscience*, 2017. – Vol. 20. – №. 10. – P. 1413.
281. Popescu M.L. et al. Age-related eye disease and mobility limitations in older adults // *Investigative ophthalmology & visual science*, 2011. – Vol. 52. – №. 10. – P. 7168-7174.

282. Popper K. Conjectures and Refutations // The Growth of Scientific Knowledge, London 1963, S. 33ff, 1963.
283. Popper K.R. 1959 // The logic of scientific discovery, 1934.
284. Posner M.I. Orienting of attention // Quarterly journal of experimental psychology, 1980. – Vol. 32. – №. 1. – P. 3-25.
285. Posner M.I. Orienting of attention: Then and now // Quarterly journal of experimental psychology, 2016. – Vol. 69. – №. 10. – P. 1864-1875.
286. Posner M.I., Keele S.W. On the genesis of abstract ideas // Journal of experimental psychology, 1968. – Vol. 77. – №. 3p1. – P. 353.
287. Posner M.I., Keele S.W. Retention of abstract ideas // Journal of Experimental psychology, 1970. – Vol. 83. – №. 2p1. – P. 304.
288. Posner M.I., Petersen S.E. The attention system of the human brain // Annual review of neuroscience, 1990. – Vol. 13. – №. 1. – P. 25-42.
289. Potter M.C., Fox L.F. Detecting and remembering simultaneous pictures in a rapid serial visual presentation // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2009. – Vol. 35. – №. 1. – P. 28.
290. Pratt J., Bekkering H., Leung M. Estimating the components of the gap effect // Experimental Brain Research, 2000. – Vol. 130. – №. 2. – P. 258-263.
291. Provis J.M. et al. Adaptation of the central retina for high acuity vision: cones, the fovea and the avascular zone // Progress in retinal and eye research, 2013. – Vol. 35. – P. 63-81.
292. Ramachandran V.S. Perception of shape from shading // Nature, 1988. – Vol. 331. – №. 6152. – P. 163.
293. Rauss K., Pourtois G. What is bottom-up and what is top-down in predictive coding? // Frontiers in psychology, 2013. – Vol. 4. – P. 276.
294. Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research // Psychological bulletin, 1998. – Vol. 124. – №. 3. – P. 372.
295. Reddi B.A.J., Carpenter R. H. S. The influence of urgency on decision time // Nature neuroscience, 2000. – Vol. 3. – №. 8. – P. 827.

296. Reicher G.M. Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material // *Journal of experimental psychology*, 1969. – Vol. 81. – №. 2. – P. 275.
297. Reingold E. M. et al. Perceptual automaticity in expert chess players: Parallel encoding of chess relations // *Psychonomic Bulletin & Review*, 2001. – Vol. 8. – №. 3. – P. 504-510.
298. Reingold E.M. et al. Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements // *Psychological Science*, 2001. – Vol. 12. – №. 1. – P. 48-55.
299. Reingold E.M., Charness N. Perception in chess: Evidence from eye movements // *Cognitive processes in eye guidance*, 2005. – P. 325-354.
300. Reingold E.M., Glaholt M.G. Cognitive control of fixation duration in visual search: The role of extrafoveal processing // *Visual Cognition*, 2014. – Vol. 22. – №. 3-4. – P. 610-634.
301. Reingold E.M., Sheridan H. Eye movements and visual expertise in chess and medicine // *Oxford handbook on eye movements*, 2011. – Vol. 528.
302. Rensink R.A. The modeling and control of visual perception // *Integrated Models of Cognitive Systems*, 2007. – P. 132-148.
303. Rensink R.A., Cavanagh P. The influence of cast shadows on visual search // *Perception*, 2004. – Vol. 33. – №. 11. – P. 1339-1358.
304. Rensink R.A., O'Regan J.K., Clark J.J. To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes // *Psychological science*, 1997. – Vol. 8. – №. 5. – P. 368-373.
305. Reuter-Lorenz P.A., Hughes H.C., Fendrich R. The reduction of saccadic latency by prior offset of the fixation point: an analysis of the gap effect // *Perception & psychophysics*, 1991. – Vol. 49. – №. 2. – P. 167-175.
306. Reynolds J.H., Chelazzi L. Attentional modulation of visual processing // *Annu. Rev. Neurosci*, 2004. – Vol. 27. – P. 611-647.
307. Reynolds J.H., Desimone R. The role of neural mechanisms of attention in solving the binding problem // *Neuron*, 1999. – Vol. 24. – №. 1. – P. 19-29.

308. Rizzolatti G. et al. Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: evidence in favor of a premotor theory of attention // *Neuropsychologia*, 1987. – Vol. 25. – №. 1. – P. 31-40.
309. Rolfs M. Attention in active vision: A perspective on perceptual continuity across saccades // *Perception*, 2015. – Vol. 44. – №. 8-9. – P. 900-919.
310. Rosch E. Cognitive representations of semantic categories // *Journal of experimental psychology: General*, 1975. – Vol. 104. – №. 3. – P. 192.
311. Rosch E., Mervis C.B. Family resemblances: Studies in the internal structure of categories // *Cognitive psychology*, 1975. – Vol. 7. – №. 4. – P. 573-605.
312. Rosenholtz R. A simple saliency model predicts a number of motion popout phenomena // *Vision research*, 1999. – Vol. 39. – №. 19. – P. 3157-3163.
313. Rosenholtz R. Capabilities and limitations of peripheral vision, 2016.
314. Rosenholtz R. et al. A summary statistic representation in peripheral vision explains visual search // *Journal of vision*, 2012. – Vol. 12. – №. 4. – P. 14-14.
315. Rosenholtz R. Texture perception // *Oxford handbook of perceptual organization*, 2014. – P. 167-186.
316. Rosenholtz R., Huang J., Ehinger K.A. Rethinking the role of top-down attention in vision: Effects attributable to a lossy representation in peripheral vision // *Frontiers in psychology*, 2012. – Vol. 3. – P. 13.
317. Rovamo J., Virsu V. An estimation and application of the human cortical magnification factor // *Experimental brain research*, 1979. – Vol. 37. – №. 3. – P. 495-510.
318. Sagi D. Perceptual learning in vision research // *Vision research*, 2011. – Vol. 51. – №. 13. – P. 1552-1566.
319. Samadani U. et al. Eye tracking detects disconjugate eye movements associated with structural traumatic brain injury and concussion // *Journal of neurotrauma*, 2015. – Vol. 32. – №. 8. – P. 548-556.
320. Saslow M.G. Effects of components of displacement-step stimuli upon latency for saccadic eye movement // *Josa*, 1967. – Vol. 57. – №. 8. – P. 1024-1029.

321. Sato T.R., Schall J.D. Effects of stimulus-response compatibility on neural selection in frontal eye field // *Neuron*, 2003. – Vol. 38. – №. 4. – P. 637-648.
322. Schall J.D., Thompson K.G. Neural selection and control of visually guided eye movements // *Annual review of neuroscience*, 1999. – Vol. 22. – №. 1. – P. 241-259.
323. Schneider W.X., Deubel H. Selection-for-perception and selection-for-spatial-motor-action are coupled by visual attention: A review of recent findings and new evidence from stimulus-driven saccade control // *Attention and performance XIX: Common mechanisms in perception and action*, 2002. – Vol. 19. – P. 609-627.
324. Schmidt J., Zelinsky G.J. Search guidance is proportional to the categorical specificity of a target cue // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2009. – Vol. 62. – №. 10. – P. 1904-1914.
325. Schmidt J., Zelinsky G.J. Visual search guidance is best after a short delay // *Vision Research*, 2011. – Vol. 51. – №. 6. – P. 535-545.
326. Sheliga B.M., Riggio L., Rizzolatti G. Orienting of attention and eye movements // *Experimental Brain Research*, 1994. – Vol. 98. – №. 3. – P. 507-522.
327. Shepherd M., Findlay J.M., Hockey R.J. The relationship between eye movements and spatial attention // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 1986. – Vol. 38. – №. 3. – P. 475-491.
328. Shipp S. The brain circuitry of attention // *Trends in cognitive sciences*, 2004. – Vol. 8. – №. 5. – P. 223-230.
329. Shipp S. The functional logic of cortico–pulvinar connections // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 2003. – Vol. 358. – №. 1438. – P. 1605-1624.
330. Shvarts A., Chumachenko D., Dreneva A., Krichevets A. // *Proceedings of the PME and Yandex Russian conference “Technology and Psychology for Mathematics Education”*. — HSE Publishing House Moscow, 2019. — P. 122–129.
331. Simon H.A., Gilmarin K. A simulation of memory for chess positions // *Cognitive psychology*, 1973. – Vol. 5. – №. 1. – P. 29-46.

332. Spellman B.A., Ullman J.B., Holyoak K.J. A coherence model of cognitive consistency: Dynamics of attitude change during the Persian Gulf War // *Journal of Social Issues*, 1993. – Vol. 49. – №. 4. – P. 147-165.
333. Sternberg S. High-speed scanning in human memory // *Science*, 1966. – Vol. 153. – №. 3736. – P. 652-654.
334. Strange W. et al. Abstraction over time of prototypes from distortions of random dot patterns: A replication, 1970.
335. Sumner P. Determinants of saccade latency // *The Oxford handbook of eye movements*, 2011. – P. 413-424.
336. Swensson R.G. A two-stage detection model applied to skilled visual search by radiologists // *Perception & Psychophysics*, 1980. – Vol. 27. – №. 1. – P. 11-16.
337. Tai R.H., Loehr J.F., Brigham F.J. An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments // *International journal of research & method in education*, 2006. – Vol. 29. – №. 2. – P. 185-208.
338. Thompson K.G. et al. Perceptual and motor processing stages identified in the activity of macaque frontal eye field neurons during visual search // *Journal of Neurophysiology*, 1996. – Vol. 76. – №. 6. – P. 4040-4055.
339. Titchener E.B. On " Psychology as the Behaviorist Views It" // *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1914. – Vol. 53. – №. 213. – P. 1-17.
340. Titchener E.B. The schema of introspection // *The American Journal of Psychology*, 1912. – Vol. 23. – №. 4. – P. 485-508.
341. Töllner T., Conci M., Müller H.J. Predictive distractor context facilitates attentional selection of high, but not intermediate and low, salience targets // *Human Brain Mapping*, 2015. – Vol. 36. – №. 3. – P. 935-944.
342. Torralba A. et al. Contextual guidance of eye movements and attention in real-world scenes: the role of global features in object search // *Psychological review*, 2006. – Vol. 113. – №. 4. – P. 766.
343. Trappenberg T.P. et al. A model of saccade initiation based on the competitive integration of exogenous and endogenous signals in the superior colliculus // *Journal of cognitive neuroscience*, 2001. – Vol. 13. – №. 2. – P. 256-271.

344. Treisman A. Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects // *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 1982. – Vol. 8. – №. 2. – P. 194.
345. Treisman A. Preattentive processing in vision // *Computer vision, graphics, and image processing*, 1985. – Vol. 31. – №. 2. – P. 156-177.
346. Treisman A.M., Gelade G. A feature-integration theory of attention // *Cognitive psychology*, 1980. – Vol. 12. – №. 1. – P. 97-136.
347. Treisman A., Gormican S. Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries // *Psychological review*, 1988. – Vol. 95. – №. 1. – P. 15.
348. Turner M., Fauconnier G. Metaphor, metonymy, and binding // *Metaphor and metonymy at the crossroads: A cognitive perspective*, 2000. – Vol. 356. – P. 356.
349. Trick L.M., Pylyshyn Z.W. What enumeration studies can show us about spatial attention: evidence for limited capacity preattentive processing // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1993. – Vol. 19. – №. 2. – P. 331.
350. Vecera S.P., Behrmann M. Attention and unit formation: A biased competition account of object-based attention // *Advances in psychology*. – North-Holland, 2001. – Vol. 130. – P. 145-180.
351. Velichkovsky B.M. (2002) Heterarchy of cognition: the depths and the highs of a framework for memory research. // *Memory*. 10(5-6): 405-419.
352. Verbruggen F., McLaren I. P. L., Chambers C.D. Banishing the control homunculi in studies of action control and behavior change // *Perspectives on Psychological Science*, 2014. – Vol. 9. – №. 5. – P. 497-524.
353. Vickery T.J., King L.W., Jiang Y. Setting up the target template in visual search // *Journal of Vision*, 2005. – Vol. 5. – №. 1. – P. 8-8.
354. Vlaskamp B.N.S., Over E.A.B., Hooge I.T.C. Saccadic search performance: the effect of element spacing // *Experimental brain research*, 2005. – Vol. 167. – №. 2. – P. 246-259.

355. Võ M.L.H., Henderson J.M. Does gravity matter? Effects of semantic and syntactic inconsistencies on the allocation of attention during scene perception // *Journal of Vision*, 2009. – Vol. 9. – №. 3. – P. 24-24.
356. Von Grünau M., Dubé S. Visual search asymmetry for viewing direction // *Perception & Psychophysics*, 1994. – Vol. 56. – №. 2. – P. 211-220
357. Walker R. et al. Control of voluntary and reflexive saccades // *Experimental Brain Research*, 2000. – Vol. 130. – №. 4. – P. 540-544.
358. Wang Q. et al. An eye-tracking study of website complexity from cognitive load perspective // *Decision support systems*, 2014. – Vol. 62. – P. 1-10.
359. Wang Q., Cavanagh P., Green M. Familiarity and pop-out in visual search // *Perception & psychophysics*, 1994. – Vol. 56. – №. 5. – P. 495-500.
360. Wertheim T. Uber die indirekte Sehscharfe // *Zeitschrift fur Psychologie*. – 1894. – Vol. 7. – P. 172-187.
361. Wheeler D.D. Processes in word recognition // *Cognitive Psychology*, 1970. – Vol. 1. – №. 1. – P. 59-85.
362. Wheelless L.L., Cohen G.H., Boynton R.M. Luminance as a parameter of the eye-movement control system // *JOSA*, 1967. – Vol. 57. – №. 3. – P. 394-400.
363. Whitney D., Levi D.M. Visual crowding: A fundamental limit on conscious perception and object recognition // *Trends in cognitive sciences*, 2011. – Vol. 15. – №. 4. – P. 160-168.
364. Wisniewski E.J., Medin D.L. On the interaction of theory and data in concept learning // *Cognitive Science*, 1994. – Vol. 18. – №. 2. – P. 221-281.
365. Wittgenstein L. 1958 // *Philosophical investigations*, 1953. – Vol. 3.
366. Wolfe J.M. Guided search 2.0 a revised model of visual search // *Psychonomic bulletin & review*, 1994. – Vol. 1. – №. 2. – P. 202-238.
367. Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 1989. – Vol. 15. – №. 3. – P. 419.

368. Wolfe J.M. et al. How fast can you change your mind? The speed of top-down guidance in visual search // *Vision research*, 2004. – Vol. 44. – №. 12. – P. 1411-1426.
369. Wolfe J.M. Visual search // *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience*, 2018. – Vol. 2. – P. 1-55.
370. Wolfe J.M., Gray W. Guided search 4.0 // *Integrated models of cognitive systems*, 2007. – P. 99-119.
371. Wolfe J.M., Horowitz T.S. Five factors that guide attention in visual search // *Nature Human Behaviour*, 2017. – Vol. 1. – №. 3. – P. 0058.
372. Wolfe J.M., Horowitz T.S. What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? // *Nature reviews neuroscience*, 2004. – Vol. 5. – №. 6. – P. 495.
373. Wolfe J.M., Utochkin I.S. What is a preattentive feature? // *Current opinion in psychology*, 2019. – Vol. 29. – P. 19-26.
374. Wright R.D., Ward L.M. *Orienting of attention*. – Oxford University Press, 2008.
375. Wundt W.M. *An introduction to psychology*. – Macmillan, 1912.
376. Xiao L.Q. et al. Complete transfer of perceptual learning across retinal locations enabled by double training // *Current Biology*, 2008. – Vol. 18. – №. 24. – P. 1922-1926.
377. Yeshurun Y., Montagna B., Carrasco M. On the flexibility of sustained attention and its effects on a texture segmentation task // *Vision research*, 2008. – Vol. 48. – №. 1. – P. 80-95.
378. Yeshurun Y., Rashal E. Precueing attention to the target location diminishes crowding and reduces the critical distance // *Journal of Vision*, 2010. – Vol. 10. – №. 10. – P. 16-16.
379. Yang H., Zelinsky G.J. Visual search is guided to categorically-defined targets // *Vision research*, 2009. – Vol. 49. – №. 16. – P. 2095-2103.
380. Young A.H., Hulleman J. Eye movements reveal how task difficulty moulds visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2013. – Vol. 39. – №. 1. – P. 168.

381. Zackon D.H. et al. The temporal order judgment paradigm: subcortical attentional contribution under exogenous and endogenous cueing conditions // *Neuropsychologia*, 1999. – Vol. 37. – №. 5. – P. 511-520.
382. Zelinsky G.J. et al. Modelling eye movements in a categorical search task // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2013. – Vol. 368. – №. 1628. – P. 20130058.
383. Zhang T. et al. Decoupling location specificity from perceptual learning of orientation discrimination // *Vision research*, 2010. – Vol. 50. – №. 4. – P. 368-374.