

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*



**Ковалёв Артём Иванович**

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ  
ИЛЛЮЗИИ ДВИЖЕНИЯ СОБСТВЕННОГО ТЕЛА**

19.00.02 – Психофизиология (психологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени

кандидата психологических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в лаборатории «Восприятие» факультета психологии  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова»

**Научный руководитель:** **Меньшикова Галина Яковлевна** – доктор психологических наук; заведующий лабораторией «Восприятие» факультета психологии ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В.Ломоносова».

**Официальные оппоненты:** **Москвин Виктор Анатольевич** – доктор психологических наук, профессор; профессор кафедры психологии ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК)»;

**Белопольский Виктор Исаевич** – доктор психологических наук, профессор; главный научный сотрудник ФГБУН Институт психологии РАН;

**Козловский Станислав Александрович** – кандидат психологических наук; доцент кафедры психофизиологии факультета психологии ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В.Ломоносова».

Защита состоится 02 марта 2018 г. в 13.00 на заседании диссертационного совета МГУ.19.01 ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» по адресу: 125009, г. Москва, улица Моховая, дом 11, строение 9, аудитория 102.  
e-mail: [us@psy.msu.ru](mailto:us@psy.msu.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке МГУ имени М.В.Ломоносова (г. Москва, Ломоносовский проспект, д.27); на сайте МГУ имени М.В.Ломоносова (<https://istina.msu.ru/dissertations/92416464/>) и на сайте Научно-консультативного совета РАО и РПО (<http://psy-science-council.ru/dissertaions/>).

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ.19.01,  
кандидат психологических наук

А.А. Кисельников

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Способность к свободному перемещению и навигации в окружающей среде является неотъемлемым и важнейшим свойством живых организмов. Высшим животным необходимо уметь различать восприятие собственного движения и восприятие движения окружающих объектов для правильной реализации поведенческих программ и, в конечном итоге, для адаптации и выживания (Gibson, 1950; Howard, 1986; Carriot et al., 2017). У человека для реализации данной цели в процессе эволюционного развития были успешно сформированы мозговые механизмы, позволяющие интегрировать и анализировать информацию, поступающую от различных органов чувств. Эффективность их действия позволяет адекватно воспринимать движение собственного тела в пространстве относительно других статичных или подвижных объектов (Strange et al., 2014; Moser et al., 2015). Однако, в некоторых ситуациях восприятие оказывалось неадекватным. Одним из примеров таких «ошибок» является иллюзия движения собственного тела, или векция – переживание человеком иллюзорного движения собственного тела в отсутствие реального физического его перемещения в пространстве (Mach, 1875; Fischer et al., 1930; Gibson, 1950; Palmisano et al., 2015). В повседневной жизни данный феномен проявляется в ряде ситуаций, например, в случае наблюдения пассажиром отправления поезда с соседнего пути, когда, оставаясь физически неподвижным, человек ощущает иллюзорное движение в направлении, противоположном направлению движения соседнего поезда.

Актуальность исследований данной иллюзии очень важна с теоретической, методической, а также практической точек зрения. С теоретической точки зрения, решение вопросов о механизмах возникновения векции, последствиях её переживания для организации поведения имеет значение для понимания процессов интеграции сенсорной и перцептивной информации мозгом с целью определения положения и ориентации тела в пространстве. Несмотря на многочисленные исследования иллюзии движения собственного тела с помощью методов психофизиологии (Palmisano et al., 1998;

Kleinschmidt et al., 2001; Nakagawa et al., 2002; Keshavarz et al., 2014), вопрос о мозговых механизмах возникновения данного феномена остаётся открытым. К тому же, остаётся важной и проблема наличия/отсутствия у иллюзии движения собственного тела функционального значения – является ли возникновение иллюзии ошибкой человеческого восприятия или же векция является эволюционно выработанным способом приспособления к меняющимся условиям окружающей среды. С методической точки зрения, стоит задача разработки экспериментальных парадигм, при использовании которых появится возможность инициировать иллюзию движения собственного тела, а также варьировать субъективную выраженность иллюзии. Не теряет актуальности и проблема объективной фиксации момента возникновения иллюзии (Howard, 1988) и степени её выраженности (Kennedy et al., 1993), так как большинство исследователей для решения данной проблемы используют опросниковые методики или субъективное шкалирование (Nakamura et al., 2004; Seno et al., 2011; Slobounov et al., 2013). Актуальность практического применения результатов, полученных в экспериментах по изучению векции, диктуется запросами в области безопасности использования транспортных средств, индустрии создания виртуальных технологий, сферы спортивной деятельности. Возникающая вследствие различных причин векция у водителей, машинистов, пилотов и иных операторов, управляющих транспортными средствами, является фактором риска и требует однозначного предсказания и разработки методов редуцирования. Аналогичным образом, краткосрочная потеря ориентации в пространстве по причине возникновения иллюзии движения собственного тела в видах спорта, отличающихся выполнением сложных и быстрых двигательных элементов (художественная гимнастика, фигурное катание и т.п.), может привести к нарушению реализации двигательных программ и, в конечном итоге, получению травм и снижению результативности спортсменов.

В последние годы в связи с широким распространением в жизни человека виртуальных устройств, проекционных экранов или иных систем,

использующих широкий формат предъявления 3D-изображений, всё чаще отмечается векция у посетителей кинотеатров, пользователей различных авиа- и автосимуляторов, спортсменов и космонавтов, тренирующихся на специальных тренажёрах с большими экранами (Ковалёв и др., 2015; Seno et al., 2011; Keshavarz et al., 2014). Восприятие векции в данных ситуациях является помехой для успешного выполнения деятельности, так как приводит к неверному определению положения и ориентации тела в пространстве.

**Цель исследования:** выявление психофизиологических механизмов иллюзии движения собственного тела.

**Объект исследования:** иллюзия движения собственного тела человека.

**Предмет исследования:** психофизиологические механизмы иллюзии движения собственного тела.

#### **Теоретическая гипотеза исследования**

Восприятие человеком своего положения в пространстве обеспечивается специальной системой определения положения и ориентации тела, работа которой обусловлена влиянием сенсорных и когнитивных факторов.

#### **Эмпирические гипотезы исследования**

- ширина угла обзора наблюдателя как один из сенсорных факторов оказывает влияние на интенсивность переживания иллюзии движения собственного тела, что выражается в изменении глазодвижительной активности субъекта;
- интенсивность иллюзии движения собственного тела зависит от уровня устойчивости системы определения положения и ориентации тела в пространстве, которая формируется в результате приобретения профессиональных навыков в процессе реализации профессиональной деятельности;
- динамика нистагменных движений глаз является достоверным индикатором степени зрительно-вестибулярного сенсорного конфликта.

### **Задачи исследования**

- 1) анализ современных теоретических представлений о психологических и психофизиологических механизмах возникновения и протекания иллюзии движения собственного тела;
- 2) анализ методических приёмов, разработанных для изучения иллюзии движения собственного тела человека;
- 3) разработка авторской экспериментальной методики для инициации иллюзии движения собственного тела при использовании технологии виртуальной реальности;
- 4) разработка авторской методики для оценки выраженности иллюзии движения собственного тела на основе анализа глазодвигательной активности человека во время ее переживания;
- 5) проведение экспериментов по изучению влияния сенсорных факторов на возникновение иллюзии движения собственного тела при использовании CAVE технологии виртуальной реальности и технологии айтрекинга;
- 6) проведение экспериментов по изучению влияния когнитивного фактора на возникновение иллюзии движения собственного тела при использовании CAVE технологии виртуальной реальности и технологии айтрекинга;
- 7) установление роли глазодвигательной активности в возникновении и протекании иллюзии движения собственного тела;
- 8) разработка модели формирования иллюзии движения собственного тела.

### **Научная новизна исследования**

Впервые проведено подробное теоретическое и экспериментальное исследование иллюзии движения собственного тела. Разработаны уникальные виртуальные среды для инициации иллюзии векции в установке виртуальной реальности CAVE-system с возможностью контроля степени выраженности иллюзии.

Впервые разработана и успешно применена методика объективной оценки выраженности иллюзии движения собственного тела на основе анализа глазодвигательной активности. Регистрация движений глаз позволила

достоверно установить влияние таких сенсорных параметров виртуальной среды, как ширина угла обзора и скорость вращения стимуляции, на инициацию иллюзии, а также влияние когнитивного фактора в виде различного уровня устойчивости системы определения положения и ориентации тела в пространстве.

Получены новые экспериментальные данные о динамике нистагменных движений глаз и её взаимосвязи с динамикой иллюзии движения собственного тела. Показано, что увеличение длительности медленной фазы оптокинетического нистагма соответствует во времени моменту возникновения иллюзии.

Предложена модель формирования иллюзии движения собственного тела. Переживание иллюзии движения собственного тела представлено в данной модели как одно из возможных состояний системы определения положения и ориентации тела в пространстве. Иллюзия движения собственного тела впервые рассматривается как звено регуляторной системы управления положением и ориентацией тела в пространстве.

### **Теоретическая значимость исследования**

В результате проведённых исследований получены данные о влиянии таких факторов, как низкоуровневый фактор «ширина угла обзора испытуемого» и когнитивный фактор «уровень устойчивости системы определения положения и ориентации тела в пространстве» на выраженность и протекание иллюзии движения собственного тела. Впервые обнаружены различия в переживании иллюзии у людей с различным уровнем устойчивости системы определения положения и ориентации тела в пространстве – спортсменов различных видов спорта, что позволяет утверждать о наличии взаимосвязи между возникновением иллюзии и мозговыми процессами интеграции сенсорной информации.

Показана роль глазодвигательной активности в формировании иллюзии движения собственного тела. Эффективное применение системы виртуальной реальности доказывает уникальность этого инструментария для проведения

психологических исследований, особенно по отношению к таким комплексным и сложным феноменам, как иллюзия движения собственного тела.

### **Практическая значимость исследования**

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при проектировании мультимодальных компьютерных сред для различных систем виртуальной реальности, в том числе тренажёров и симуляторов на основе виртуальных технологий. Разработанная методика диагностики выраженности векции может иметь практическое приложение в вопросах оценки уровня устойчивости системы определения положения и ориентации тела в пространстве у спортсменов, космонавтов, операторов транспортных средств, в задачах нейрореабилитации.

Полученные результаты имеют большое значение при планировании и проведении исследований особенностей когнитивных функций в условиях виртуальной реальности (проект «Применение технологий виртуальной реальности в разработке инновационных методов изучения когнитивных процессов человека», рук. Ю.П. Зинченко).

### **Теоретико-методологические основания исследования**

Проведённое исследование опирается на методологические основания постнеклассического подхода в науке (Зинченко, 2014; Стёпин, 2015). Также использованы принципы когнитивного подхода к исследованию зрительного восприятия (Найссер, 1981; Брунер, 1977). При описании психофизиологических механизмов иллюзии движения собственного тела использовано представление о вестибулярной функции как особой функциональной системе определения положения тела в пространстве (Анохин, 1975; Бернштейн, 2013). Создание условий возникновения иллюзии движения собственного тела произведено с учётом требований теории сенсорного конфликта (Reason, 1978).

Для создания методического инструментария использованы идеи экспериментальных подходов к изучению высших психических функций в условиях виртуальной реальности (Меньшикова и др., 2015; Черноризов и др.,



2015), методики отечественных учёных по изучению глазодвигательной активности человека (Романов, 1971; Гиппенрейтер, 1978).

### **Методы исследования**

Основным методом, используемым в приведённых исследованиях, является эксперимент. Эксперименты проводились с применением технологий виртуальной реальности высокой степени иммерсивности типа CAVE-system. Также применялись полуструктурированное интервью, методика прямого шкалирования интенсивности иллюзии движения собственного тела, методика «Симуляторные расстройства» (Simulator Sickness Questionnaire – SSQ, Kennedy et al., 1993). Использовалась методика регистрации движений глаз.

Статистическая обработка данных проводилась при помощи системы IBM SPSS 21 с использованием следующих процедур: критерий Манна-Уитни, t-критерий Стьюдента для зависимых выборок, дисперсионный анализ с повторными измерениями, регрессионный анализ методом пошагового отбора.

Создание и предъявление виртуальных сцен произведено при помощи программной среды Virtools 4.0. производства 3DVIA Studio Pro. Регистрация и обработка глазодвигательной активности производились с использованием программных продуктов SMI IView ETG 3.6 и SMI BeGaze 3.6. Микроструктурный анализ пространственно-временных траекторий движений глаз осуществлён с применением программного продукта MathWorks MATLAB 2013a.

### **Достоверность и надёжность результатов исследования**

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением методов регистрации, обработки и анализа данных, адекватных предмету и задачам исследования; организацией экспериментов в соответствии со стандартами экспериментальной психологии; системностью исследовательских процедур; использованием при обработке и анализе данных, а также при создании стимульного материала современного программного обеспечения; согласованностью полученных результатов с данными других исследователей.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Возникновение и выраженность иллюзии движения собственного тела обусловлены степенью зрительно-вестибулярного сенсорного конфликта, который формируется и протекает с активным участием движений глаз.
2. Интенсивность иллюзии движения собственного тела определяется действием сенсорных и когнитивных факторов.
3. Отдельные параметры глазодвигательной активности являются надёжными индикаторами выраженности иллюзии движения собственного тела человека.
4. Динамика нистагменных движений глаз отражает динамику возникновения и переживания иллюзии движения собственного тела человека.
5. Использование систем виртуальной реальности является наиболее адекватной современной технологией для изучения иллюзии движения собственного тела человека.

### **Апробация результатов исследования**

Результаты работы обсуждались на заседании лаборатории «Восприятие» факультета психологии МГУ имени М.В.Ломоносова (2017 г.); представлены на российских и международных конференциях: Международном молодёжном научном форуме «Ломоносов» (2011 г, 2012 г, 2013 г., 2014 г., 2015 г., 2016 г. и 2017 г.); 37-й (г. Белград, Сербия, 2014 г.), 38-й (г. Ливерпуль, Великобритания, 2015 г.), 39-й (г. Барселона, Испания, 2016 г.) и 40-й (г. Берлин, Германия, 2017 г.) Европейской конференции по зрительному восприятию; 18-й (г. Вена, Австрия, 2015 г.) и 19-й (г. Вупперталь, Германия, 2017 г.) Европейской конференции по движениям глаз; 31-ом Международном психологическом конгрессе (г. Йокогама, Япония, 2016 г.); 18-ом Международном психофизиологическом конгрессе (г. Гавана, Куба, 2016 г.); 57-й международной Ежегодной встрече Общества психофизиологических исследований (г. Вена, Австрия, 2017 г.). Результаты проведённых исследований также отмечены премией Министерства образования и науки РФ по поддержке талантливой молодёжи (2012 г.). Эмпирические результаты о

возникновении иллюзии движения собственного тела в условиях виртуальной реальности используются в преподавании дисциплин «Общая психология» (раздел «Ощущение и восприятие»), «Движения глаз и когнитивные процессы», «Современные технологии в психологической реабилитации».

### **Структура и объём диссертации**

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Общий объём работы составляет 229 страниц. В тексте диссертации содержится 6 таблиц и 39 рисунков. Список литературы включает 307 наименований, из них 247 – на иностранном языке.

### **Основное содержание диссертации**

Во **Введении** обосновываются актуальность выбранной темы, её теоретическая и практическая значимость, научная новизна исследования; ставятся цели и задачи исследования; разрабатывается его методолого-теоретическая основа; формулируются основная и частные гипотезы; определяются предмет и объект исследования; указываются положения, выносимые на защиту.

В **первой главе «Проблема изучения иллюзия движения собственного тела человека в психологии и нейронауке»** представлен исторический обзор исследований, посвящённых иллюзии движения собственного тела; даётся определение данной иллюзии, приводятся основные подходы к её изучению.

**Раздел 1 «Современные представления об иллюзии движения собственного тела»** посвящён описанию существующих теоретических представлений об иллюзии движения собственного тела. Рассматривается проблема определения и классификации иллюзии движения собственного тела – как субъективного феномена, возникающего у неподвижного человека при наблюдении движущейся зрительной стимуляции, занимающей значительную часть зрительного поля (Mach, 1875; Dichgans et al., 1978). Приводится история возникновения одного из названий данной иллюзии – векция (Fisher et al., 1930). Описаны выделяемые виды иллюзии движения собственного тела:

слуховая векция (Lackner, 1977; Sakamoto et al., 2004); гаптокинетическая векция (Nilsson et al., 2012; Murata et al., 2014); артрокинетическая векция (Brandt et al., 1977; Howard et al., 1998); биомеханическая векция (Bles, 1981; Riecke et al., 2011); вестибулярная векция (Cress, 1997; Fasold et al., 2002.).

Описываются существующие теории и гипотезы о причинах возникновения иллюзии. Рассматриваются результаты изучения векции в русле экологического подхода к зрительному восприятию (Gibson, 1963). Обсуждаются причины возникновения иллюзии движения собственного тела с точки зрения изменений, происходящих в световом оптическом строе при наблюдении человеком движения зрительного поля. Подробно анализируется наиболее разработанная теория возникновения иллюзии движения собственного тела – теория сенсорного конфликта (Irwin, 1881; Reason, 1978) и её модификации (Cutting, 1986; Wertheim, 1994; van der Steen, 1998, Warwick-Evans et al., 1998). Возникновение иллюзии в рамках данной теории определяется как один из результатов рассогласования поступающей сенсорной информации от различных анализаторных систем. В данном параграфе обсуждаются также другие гипотезы и теории о возникновении иллюзии движения собственного тела: эволюционная гипотеза (Treisman, 1977); кардиоваскулярная теория (Yates, 1998); ацетилхолиновая теория (Hoyt et al., 2009); гипотеза постуральной нестабильности (Ricció et al., 1991). Рассматривается наличие функционального значения иллюзии движения собственного тела для организации поведения индивида.

Подробно анализируются методы и способы оценки интенсивности переживания иллюзии. Среди используемых приёмов оценки выделяются два класса – субъективные методики (опросники, анкетирование, субъективный отчёт) и объективные (регистрация различных вегетативных показателей). Приводится описание наиболее часто используемой методики «Симуляторные расстройства», состоящей из 16 вопросов о наличии дискомфортных симптомов у испытуемого (Kellog, 1965; Kennedy et al., 1993). Данная методика позволяет оценить выраженность иллюзии только исходя из предположения о связи

векции с возникающими головокружением, тошнотой и другими неприятными симптомами. Использование вегетативных показателей в качестве объективных индикаторов переживания иллюзии не позволило однозначно оценить выраженность иллюзии, так как изменения вегетативных показателей также в большей степени имеют причиной возрастающий дискомфорт (Warwick-Evans, 1987; Harm, 2002).

**В разделе 2 «Экспериментальное изучение иллюзии движения собственного тела в психофизиологии и когнитивной психологии»** приводятся результаты экспериментов, направленных на изучение мозговых механизмов иллюзии движения собственного тела; факторов, влияющих на её выраженность, и перспективы использования систем виртуальной реальности в изучении векции.

**В параграфе 2.1. «Сенсорные и когнитивные факторы, влияющие на возникновение иллюзии движения собственного тела»** анализируются результаты исследований векции с применением различного типа систем предъявления стимуляции и приёмов оценки выраженности иллюзии. Результаты изучения влияния сенсорных факторов показали наличие влияния таких переменных, как ширина угла обзора испытуемого (Brandt, 1973; Delmore, 1986; McCauley, 1992; Trutoiu, 2009; Keschavarz et al., 2011); пространственная частота стимула, скорость его вращения или передвижения (Diener, 1976; Kano, 1991; Palmisano, et al., 1998; Diels et al., 2011).

Среди когнитивных факторов, влияющих на выраженность иллюзии, выделяются содержание зрительной сцены, убежденность испытуемого в неподвижности экспериментальной установки (Riecke et al., 2006), возраст испытуемых (Brooks et al., 2010). Применение систем виртуальной реальности при изучении векции позволяет рассматривать возникновение иллюзии в контексте проблемы выраженности «эффекта присутствия» в виртуальных средах (Ohmi, 1998; Prothero, 1998; Palmisano et al., 2015), изучать векцию с высокой степенью интенсивности (Kim, 2015; Riecke et al., 2015), разрабатывать

механизмы инициации иллюзии в качестве компенсации невозможности реализации двигательной активности (Freeman, 2000; Riecke et al., 2011).

**В параграфе 2.2.** «Изучение мозговых механизмов иллюзии движения собственного тела» рассматриваются результаты изучения активности головного мозга во время векции.

Показано, что изучение векции с использованием технологий нейровизуализации обнаружило активацию многих зон головного мозга. В первую очередь отмечается активация островковой области (Previc et al., 2000). Поскольку островковая зона связана с обработкой вестибулярной информации, то была выдвинута гипотеза вестибулярной фасилитации, согласно которой сенсорный конфликт возникает в результате повышения активации вестибулярных зон коры при наблюдении движущегося стимула большого размера (Cardin et al., 2010). Дальнейшее изучение мозговых механизмов векции обнаружило противоположные результаты. Данные регистрации активности головного мозга показали, что во время восприятия движения зрительного стимула избирательно активировались зоны зрительной коры (V1 – V5) и вестибулярная парието-инсулярная кора (PIVC). А во время векции избирательно активировалась только область узелка мозжечка (NC) (Kleinschmidt et al., 2002). Таким образом, была выдвинута гипотеза вестибулярной ингибиции, согласно которой сенсорный конфликт и векция возникают в результате слабости вестибулярного сигнала по отношению к сигналу со стороны зрительной системы (Dietrich et al., 2003; Deutschlander et al., 2004; Kovacs et al., 2008).

С применением магнитоэнцефалографии была установлена активация пост-центральной извилины (GP) и ниже-задней височной доли (IPTL), а также покрышки (PO) (Nakagawa, 2002). С применением электроэнцефалографии было показано, что амплитуда потенциала N70 в затылочных областях была значимо меньше в течение промежутков времени, отмеченных испытуемыми как промежутки переживания векции (Thilo et al., 2003). Таким образом, на сегодняшний день имеется достаточное количество

экспериментальных данных о вовлечении различных областей коры головного мозга в возникновение векции, а также обнаружены некоторые изменения в динамике мозговой активности при переживании данной иллюзии. Однако, как отмечают многие авторы, результаты этих исследований зачастую не согласуются между собой из-за различий в используемой стимуляции и методов оценки выраженности иллюзии (Nishiike, 2002; Morrone et al., 2008; van der Hoorn, 2010).

**В параграфе 2.3.** «Роль глазодвигательной активности в возникновении иллюзии движения собственного тела» рассматриваются результаты исследований векции с применением айтрекинга. Связь движений глаз с векцией известна ещё с первых работ в области изучения данного феномена. Э. Мах был первым, кто обратил внимание на тот факт, что если испытуемый фиксирует взглядом точку, то векция наступает быстрее, чем в случае, когда глаза прослеживают движения стимула (Mach, 1875). В. Беккер с коллегами (Becker et al., 2002) подверг систематической проверке зависимость времени наступления векции от степени фиксации взглядом неподвижной точки в различных условиях наблюдения стимуляции. Результаты показали, что векция возникает быстрее, если глаза фиксируются на точке, по сравнению с ситуацией натурального прослеживания стимуляции. Сходный результат получен в исследовании С. Накамуры (Nakamura, 2004), посвящённом изучению так называемой инвертированной векции. Автор обнаружил, что медленно движущаяся стимуляция на фоне быстро движущегося в противоположном направлении стимула на заднем плане инициирует возникновение векции в том же направлении, что и переднеплановый стимул с той же иллюзорной скоростью. Общим среди результатов данных экспериментов является тот факт, что в механизме возникновения иллюзии играет роль реализация нистагменной глазодвигательной активности, которая появляется при наблюдении движущегося зрительного стимула.

Однако существуют и другая точка зрения на роль нистагменных движений глаз. Так Ш. Эбенгольц и Р. Штерн в своих работах выдвинули

гипотезу о том, что наличие проприоцептивных сигналов от глазных мышц при оптокинетическом нистагме является причиной усиления сенсорного конфликта, что в свою очередь приводит к переживанию иллюзии (Stern et al., 1990; Ebenholtz et al., 1994). Кроме того, И. Пиико (Pyukko et al., 1984) показал, что введение скополамина, уменьшающего выраженность нистагма, приводит к уменьшению дискомфортных ощущений в условиях возникновения векции как при наблюдении движущегося стимула, так и при вестибулярных воздействиях.

Одной из первых попыток установить взаимосвязь между динамикой нистагменной активности и возникновением векции стало исследование Дж. Ким и С. Пальмизано (Kim et al., 2010). Было показано, что увеличение интенсивности иллюзии сопровождается уменьшением скорости медленной фазы оптокинетического нистагма. Отмечено, что данные идеи являются перспективными и нуждаются в дальнейшем развитии.

**Глава 2 «Влияние сенсорного фактора «ширина угла обзора» на выраженность иллюзии движения собственного тела»** посвящена описанию методики и результатов первого экспериментального исследования.

Целью данного исследования стало изучение особенностей глазодвигательной активности человека при переживании иллюзии движения собственного тела различной степени интенсивности. Выдвинуты следующие гипотезы:

1. Различные градации ширины угла обзора, в котором испытуемый наблюдает движущуюся стимуляцию, приведут к различной степени выраженности иллюзии. Наибольшие значения ширины угла обзора будут приводить к максимальной степени выраженности иллюзии векции.
2. Изменение степени выраженности иллюзии должно проявиться в таких показателях, как количество и длительность фиксаций и морганий, амплитуда саккад, особенностях пространственно-временных траекторий движений глаз.

Независимой переменной являлась «ширина угла обзора», которая имела 3 уровня – 45°, 90° и 180°.



Зависимыми переменными стали количество и длительность морганий, количество и длительность фиксаций, амплитуда саккад, общий балл опросника «Симуляторные расстройства».

Испытуемые – 48 студентов различных специальностей в возрасте от 17 до 25 лет (29 женщин и 19 мужчин, средний возраст  $21 \pm 2$  г.).

Для демонстрации стимуляции была использована установка виртуальной реальности CAVE-system. Стимуляция представляла собой 256 синих шаров, движущихся одновременно на чёрном фоне по криволинейной траектории – эллипсовидной с изменением угла наклона.



Рис. 1. Предъявление стимуляции в установке виртуальной реальности CAVE-system.

Процедура эксперимента состояла из 3 последовательных предъявлений (рис.1) различных условий стимуляции (последовательное увеличение ширины угла обзора от  $45^\circ$  до  $180^\circ$ ). Во всех из них испытуемый стоял в центре установки виртуальной реальности и наблюдал стимуляцию в течение 2 минут.

Обнаружено значимое влияние фактора «ширина угла обзора» на зависимую переменную «Общий балл опросника» ( $F(2)=6,652$ ,  $p=0,002$ ). Значимых различий в макропоказателях движений глаз не обнаружено, поэтому для детального анализа глазодвигательной активности был применён микроструктурный анализ пространственно-временных траекторий движений глаз.

Для первого условия получены схожие графики траекторий для всех испытуемых. Качественный анализ показывает, что положение взгляда

колеблется в «коридоре»  $4,3^\circ$ , при этом присутствует лишь низкоамплитудная глазодвигательная активность (в среднем  $1-1,5^\circ$ ), которая соответствует движениям глаз при фиксации точки наблюдения. Нистагменные движения не выделяются.

Под воздействием стимуляции в течение второго условия выделяются нистагменные движения. В профилях выделяются характерные комплексы движений глаз, состоящие из нескольких фаз оптокинетического нистагма и морганий. В среднем, такие комплексы в течение 2 минут возникают 4-5 раз и длятся не более 7 с. В остальное время испытуемый уверенно удерживает взгляд на точке фиксации.

Качественный анализ траекторий движений глаз в течение третьего условия позволил выделить нистагменные движения глаз. Амплитуда и длительность циклов нистагма в целом остаются такими же, как и в предыдущем условии – в среднем, 3 с и  $9^\circ$ , соответственно. При этом форма медленной фазы изменялась – вместо гладкого следящего движения в ней появляются дополнительные части, разделённые фиксациями. После окончания быстрой фазы наступает не только цикл морганий, как было во втором условии, но и целый комплекс высокоамплитудных (до  $17^\circ$ ) и высокочастотных (до 10 Гц) движений, который может длиться в течение 2-3 с.

Установлено, что увеличение угла обзора приводит к различной степени выраженности иллюзии движения собственного тела – чем больше угол обзора, тем выше интенсивность иллюзии. Тем самым, экспериментальная гипотеза подтвердилась. Полученные результаты об изменениях глазодвигательной активности проинтерпретированы следующим образом. В первом условии действие стимуляции является незначительным, поэтому испытуемые успешно выполняют задачу фиксации неподвижной точки взглядом. У них развивается утомление глазных мышц, однако потери ориентации в пространстве не происходит, и система определения положения и ориентации тела в пространстве работает стабильно, не детектируя наличие сенсорного конфликта. Во втором условии увеличение угла обзора приводит к увеличению

степени сенсорного конфликта, и для стабильной работы системы реализуется оптокинетический нистагм (ОКН), призванный стабилизировать изображение синих кругов на сетчатке. При этом нарушается выполнение задачи фиксации неподвижной точки. Циклы ОКН заканчиваются чередой морганий, поскольку развивается утомление глазных мышц в силу слежения за объектами по сложной траектории, и для стабилизации положения наблюдателя применяется механизм сенсорной перенормировки. В результате недостаточной эффективности использования ОКН возникает иллюзия движения собственного тела. В течение третьего условия максимальное значение угла обзора приводит к высокой интенсивности сенсорного конфликта. В этих условиях обычная реализация ОКН становится невозможной, возникают смещения в профилях медленных фаз. Такая форма нистагма оказывается неэффективной, в результате чего нарушается работа системы определения положения тела в пространстве, возникает векция с высокой степенью выраженности, используются глазодвигательные механизмы сенсорной перенормировки – комплексы высокоамплитудных саккад и морганий.

Обнаруженные в данном эксперименте особенности траекторий движений глаз испытуемых не были описаны ранее, так как в экспериментах не применялось настолько высокоиммерсивное устройство, как установка виртуальной реальности CAVE-system.

**В третьей главе «Влияние когнитивного фактора на возникновение иллюзии движения собственного тела»** содержится описание экспериментального изучения влияния фактора устойчивости работы системы определения положения и ориентации тела в пространстве на выраженность иллюзии движения собственного тела.

Целью настоящего исследования стало изучение глазодвигательной активности испытуемых с различной степенью устойчивости работы системы определения положения тела в пространстве во время иллюзии движения собственного тела в условиях виртуальной реальности.

Гипотеза заключается в том, что движения глаз и степень выраженности иллюзии векции у групп испытуемых с разной степенью устойчивости работы системы определения положения тела в пространстве будут различаться.

Для достижения цели эксперимента необходимо было подобрать испытуемых с заведомо высокой степенью развития функциональной системы поддержания положения и ориентации тела в пространстве. В результате, для участия в эксперименте были отобраны 110 человек в возрасте от 15 до 24 лет, из которых были составлены три экспериментальные группы и одна контрольная группа:

1. 30 фигуристов, в возрасте от 15 до 24 лет (18 женщин и 12 мужчин). 21 фигурист имел разряд «Мастер спорта» и 9 «Кандидат в мастера спорта».

2. 30 футболистов, в возрасте от 15 до 20 лет (30 мужчин). 7 футболистов имели разряд «Мастер спорта» и 23 футболиста «Кандидат в мастера спорта».

3. 30 ушуистов, в возрасте от 16 до 21 года (19 мужчин и 11 женщин). 20 имели разряд «Мастер спорта» и 10 «Кандидат в мастера спорта».

4. Контрольная группа – 20 студентов (9 мужчин и 11 женщин) различных факультетов МГУ имени М.В.Ломоносова, не занимающиеся профессионально или полупрофессионально какими-либо видами спортивной деятельности.

Независимыми переменными выступили «Ширина угла обзора», которая имела 3 уровня –  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $180^\circ$ ; и «Принадлежность к группе», имевшая 4 уровня, соответствующих группам испытуемых. Зависимыми переменными стали количество и длительность морганий, количество и длительность фиксации, амплитуда саккад, общий балл опросника «Симуляторные расстройство».

Процедура проведения эксперимента, используемая стимуляция, оборудование и программное обеспечение аналогичны тем, что применялись в эксперименте №1.

Результаты обнаружили значимое влияние факторов «Ширина угла обзора» ( $F(16)=77,867$ ,  $p=0,001$ ) и «Принадлежность к группе» на зависимые

переменные ( $F(8)=2,544$ ,  $p=0,001$ ). В первом условии и спортсмены, и студенты совершают в среднем одинаковое количество морганий (12), фиксаций (53) и саккад (47) с амплитудой, в среднем,  $7,3^\circ$ , что говорит о высокой успешности испытуемых в фиксации взгляда на точке. Второе условие отличается от первого значимым увеличением у всех групп испытуемых глазодвигательных показателей по сравнению с первым условием ( $p<0,001$ ). При этом, у фигуристов отмечается меньшая амплитуда саккад по сравнению с другими группами ( $8^\circ$  против, в среднем,  $10,3^\circ$  у футболистов, ушуистов и студентов). С учетом того, что фигуристы начинают совершать, хоть и не значимо, но несколько больше в сравнении с остальными, фиксаций (85 против 76) и саккад (83 против 70), можно отметить у них тенденцию к проявлению приспособительного навыка к изменившимся условиям среды. Больше всего различаются показатели, полученные в третьем условии, с показателями в других условиях для фигуристов. Они совершили в третьем условии больше морганий при меньшей их длительности, а также меньше фиксаций, чем остальные испытуемые. При не отличающемся от остальных количестве саккад, амплитуда их у фигуристов значимо больше (рис.2).

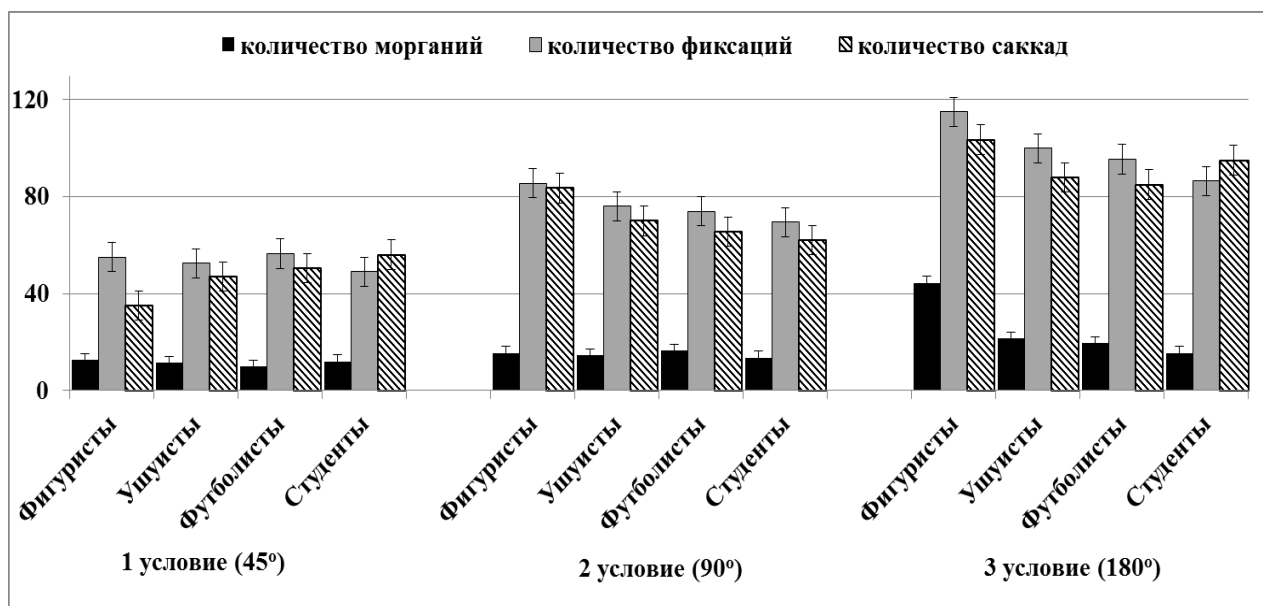


Рис. 2. Средние количества фиксаций, морганий и саккад в минуту в разных группах испытуемых.

В группах ушуистов, футболистов и в контрольной группе студентов баллы, полученные по опроснику «Симуляторные расстройства», равномерно увеличивались от условия к условию. При этом, между этими группами полученные баллы значимо не различаются. Фигуристы в первом условии, при величине угла обзора в  $45^\circ$ , имеют баллы по опроснику, сопоставимые с баллами других испытуемых – в среднем, 201 балл. Однако уже при величине угла обзора в  $90^\circ$  баллы, полученные по опроснику, во всех группах испытуемых увеличились более чем на 200 пунктов. При этом значение общего балла опросника у фигуристов возросло несколько меньше, чем в других группах (405 баллов против, в среднем, 480). При величине угла обзора в  $180^\circ$  значения общего балла фигуристов не изменялись по сравнению со вторым условием и, таким образом, оказались значительно меньше, чем в других группах. В то время как у всех остальных групп испытуемых баллы опросника увеличились (до 800 баллов).

Изучение траекторий движений глаз методом микроструктурного анализа показало, что в первом и втором условиях во всех группах испытуемых профили движений глаз не отличаются наличием каких-либо особенностей по сравнению с профилями, полученными в Эксперименте №1. Различия обнаружилось при анализе траекторий движений глаз в третьем условии (рис.3). У футболистов, ушуистов и испытуемых контрольной группы имеются те же самые особенности, которые были обнаружены в Эксперименте №1 – профили нистагмов нарушаются, появляются комплексы высокоамплитудных движений, связанных с морганиями. Однако эти особенности не обнаружены в профилях траекторий движений глаз фигуристов. Напротив, в их профилях отмечается наличие большого количества морганий и саккад, амплитудой около 4 угл. град. В результате, медленные фазы ОКН фигуристов были разделены на несколько более мелких отрезков, что соответствует примитивной форме реализации следящих движений.

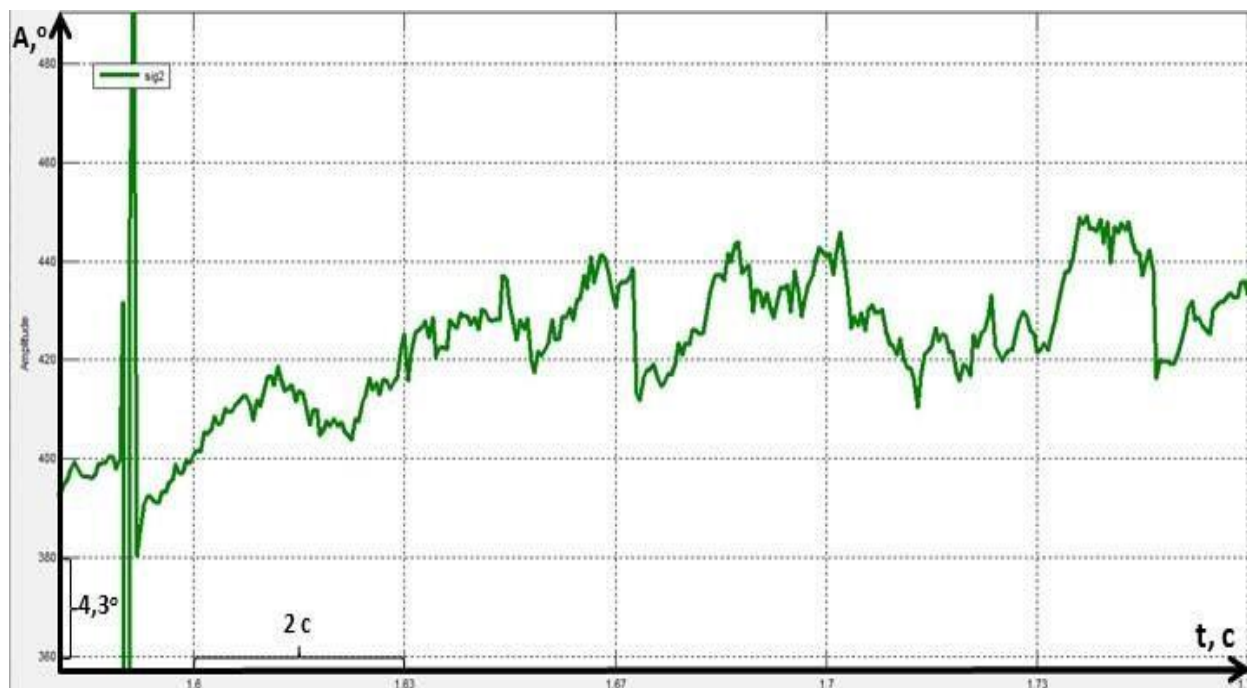


Рис. 3. Пример траектории движения взгляда испытуемого №23 из группы спортсменов фигуристов при наблюдении стимуляции с величиной угла обзора  $180^\circ$

Такие различия в глазодвигательной активности фигуристов объясняются спецификой данного вида спорта. Помимо обязательных к выполнению элементов с большим количеством вращений и наклонов, самих по себе повышающих устойчивость системы определения положения тела в пространстве, в процессе тренировок фигуристов обучают использовать специальные глазодвигательные техники для стабилизации своего положения в пространстве – фиксировать произвольную точку во время вращения, чаще моргать при изменении положения тела (Мишин, 1981). Тренировки футболистов и ушуистов направлены не на поддержание правильного положения тела в пространстве, а на максимально быстрое выполнение отдельных двигательных актов – ударов, замахов, перемещений. Так, ушуисты, выполняя в процессе тренировок те или иные приёмы, выстраивают свои движения на уровне пространственного поля (уровень С, по Н.А. Бернштейну). В свою очередь, спортсмены-футболисты, в основном оперируя с мячом, кроме уровня С активно задействуют уровень предметных действий (уровень D, по

Н.А. Бернштейну). По-видимому, при доминировании данных уровней построения движений, не происходит интеграция мозговых центров, обеспечивающих реализацию двигательного акта, которая необходима для формирования высокоэффективной вестибулярной функции. Такое звено регуляции положения тела фигуристов как стабилизация взора при вращении в процессе тренировок становится неотъемлемой частью системы компенсации положения тела в пространстве. Для работы этого звена необходимо подключение фронтальной зрительной области коры (Поле 8, по Бродману), содержащей центры регуляции произвольных движений глаз (Шеперд, 1987). Данная область имеет входы от вестибулярного ядра продолговатого мозга, которое, в свою очередь, имеет также проекцию в соматосенсорную вестибулярную область коры – вентральную внутритеменную борозду (Хьюбел, 1990). Активация данной области коры не раз отмечалась исследователями во время иллюзии движения собственного тела (Kleinschmidt et al., 2002, Keshavarz et al., 2014). То есть, в процессе тренировок фигуристов наличие постоянного воздействия высокой интенсивности на вестибулярную систему вследствие выполнения большого количества сложных двигательных элементов (вращений, ускорений, поворотов) приводит к формированию в головном мозге системы активного поддержания правильной ориентации тела в пространстве, включающей в себя как блок интеграции сенсорной информации, так и блок коррекции выполняемых движений, содержащий в том числе компенсаторные движения глаз. Отсутствие возникновения векции высокой интенсивности и дискомфортных ощущений в группе фигуристов в третьем условии объясняется тем, что реализация ОКН у них не была нарушена.

Таким образом, гипотеза о влиянии когнитивного фактора в виде различного уровня устойчивости системы определения положения и ориентации тела в пространстве, на выраженность иллюзии движения собственного тела подтвердилась.

**В четвёртой главе «Изучение динамики нистагменных движений глаз во время переживания иллюзии движения собственного тела»**



рассматриваются результаты изучения динамики нистагменных движений глаз и динамики круговой векции.

Гипотеза заключается в том, что при наблюдении движущегося стимула выраженность иллюзии движения собственного тела и степень сенсорного конфликта будут тем выше, чем выше скорость движения наблюдаемого стимула, что отразится в изменении динамики медленных фаз ОКН.

В эксперименте приняли участие 17 испытуемых (10 мужчин и 7 женщин) в возрасте от 19 до 27 лет.

Независимой переменной являются «скорость вращения стимуляции» и «направление вращения». В качестве зависимых переменных использованы показатели, рассчитанные следующим образом (рис.4):

1. Время возникновения иллюзии движения собственного тела (ЛП) в первый раз относительно начала действия стимуляции.
2. Интенсивность иллюзии, оценённая по 10-ти бальной шкале.
3. Общий балл опросника «Симуляторные расстройства».
4. Продолжительность промежутков времени, в течение которых длительность медленной фазы нистагма была увеличенной (Д). Для определения данных промежутков была использована следующая схема анализа: вначале последовательно для каждого испытуемого определялись длительности всех медленных фаз нистагма. Затем определялось среднее значение длительностей данных фаз. Все медленные фазы, длительность которых превышала среднее значение более чем на одно стандартное отклонение, принимались как обладающие увеличенной длительностью. Промежутком считался только цикл нистагма, состоящий не менее чем из 3-х ударов.
5. Латентный период нажатия на кнопку относительно начала момента увеличения длительности медленных фаз (ЛПК).
6. Коэффициент усиления глазодвигательной системы (КуГДС). В качестве данного параметра использовано отношение средней скорости медленных фаз ОКН при данной скорости вращения к

скорости движения стимуляции ОКН в течение промежутков переживания векции (Kowler, 1990). КуГДС были усреднены по каждому испытуемому для всех скоростей вращения и всех направлений. Необходимость использования данного параметра продиктована требованием к корректному сравнению скоростей медленных фаз ОКН между условиями с различными скоростями вращения стимула, от которых зависит скорость медленных фаз нистагма.



Рис. 4. Пример определения значений длительности промежутка увеличения медленных фаз ОКН, а также времени от начала данного промежутка до сигнализации испытуемым о начале возникновения иллюзии движения собственного тела.

В качестве стимуляции использован виртуальный оптокинетический барабан, вращающийся по часовой стрелке и против часовой стрелки с угловыми скоростями 30, 45 и 60 град/с. Внутренняя поверхность виртуального барабана окрашена чередующимися чёрными и белыми полосами шириной в 12 угловых градусов каждая.

Оптокинетический виртуальный барабан в течение 2 мин вращался вокруг испытуемого в разные стороны с различными скоростями. Всего 18

вращений для каждого испытуемого (3 скорости x 2 направления x 3 повторения).

Обнаружено значимое влияние фактора скорости вращения стимула на зависимые переменные ( $F(2)=143,438$ ,  $p<0,001$ ). Анализ сравнения оценок интенсивности векции обнаружил значимо большие значения оценок, полученных при скорости вращения 60 град/с, по сравнению с другими условиями. Аналогичным образом между собой отличаются значения  $D$  – значимо большая длительность данных промежутков соответствует скорости вращения 60 град/с ( $p<0,001$ ,  $t=10,464$  и  $t=11,615$  при сравнении с 30 и 45 град/с соответственно; и  $p=0,48$ ,  $t=0,723$  при сравнении значений длительности при скоростях 30 и 45 град/с между собой). Значения переменной КуГДС при скорости вращения 60 град/с значимо отличались в меньшую сторону от значений КуГДС при других скоростях вращения ( $p<0,001$ ,  $t=6,771$  и  $t=5,112$  при сравнении с 30 и 45 град/с соответственно).

Рассматривая результаты данного эксперимента, можно сделать вывод о том, что снижение скорости медленных фаз происходило из-за явления угасания ОКН (Левашов, 1984). Тогда, явление угасания ОКН можно рассматривать как нарушение в реализации компенсаторного глазодвигательного механизма по отношению к сенсорному конфликту. В результате, при малых величинах угловых скоростей вращения стимуляции действие зрительного стимула было незначительным. Возникавший сенсорный конфликт в этом случае также имел небольшую интенсивность, тем не менее, при длительном наблюдении за движущимся стимулом происходило угасание ОКН, что вело к увеличению интенсивности сенсорного конфликта. В результате деятельность работы системы определения положения и ориентации тела в пространстве нарушалась, и человек воспринимал собственное иллюзорное перемещение, после которого деятельность нистагмогенного центра стабилизировалась. При значении скорости вращения стимуляции в 60 град/с влияние зрительного стимула оказывалось настолько сильным, что угасание ОКН происходило значительно раньше. В результате увеличивалась

степень сенсорного конфликта, и векция при этом появлялась у испытуемых раньше, чем при других скоростях вращения и с большей силой.

**В пятой главе «Общее обсуждение результатов»** рассматриваются результаты проведённых в рамках диссертационного исследования экспериментов с точки зрения формирования представлений о психофизиологических механизмах иллюзии движения собственного тела.

**В параграфе 5.1.** «Модель формирования иллюзии движения собственного тела» изложено описание модели формирования иллюзии движения собственного тела (рис.5). Согласно разработанной нами модели у человека в процессе жизнедеятельности формируется сложная система определения положения и ориентации тела в пространстве – вестибулярная функция. Конечными состояниями работы этой системы является восприятие положения своего тела в окружающем пространстве. В зависимости от текущего местоположения тела такими состояниями могут, например, быть состояние покоя или состояние движения.

В основе работы вестибулярной функции лежит блок интеграции сенсорной информации, влияний когнитивных процессов и учёта копий моторных команд к мышцам при выполнении движений. Интегратор получает информацию от различных рецепторов, в первую очередь зрительных, вестибулярных, проприорецепторов. Роль данного интегратора в мозге выполняют вестибулярные ядра, на которых конвергируют как вестибулярные и зрительные афференты (Spiegel, 1933; Dichgans et al., 1973; Dichgans, 1977; Henn, 1978), так и проприоцептивные сигналы, возникающие в наружных мышцах глаз при их сокращении (Гранит, 1973; Cooper et al., 1955).



Рис. 5. Модель формирования иллюзии движения собственного тела.

Также на вестибулярных ядрах замыкаются обратные связи от проприорецепторов шеи и аксоны корковых нейронов (Усачёв, 1993). Вестибулярные ядра под воздействием данного ряда сигналов далее передают информацию на глазодвигательные ядра, благодаря чему реализуются вестибуло-окулярный рефлекс и оптокинетический нистагм.

К высокоуровневым влияниям на работу вестибулярной функции относятся так называемые когнитивные факторы – осознание человеком положения своего тела в пространстве в текущий момент, прошлый опыт, выполнение или невыполнения определённых видов деятельности. Данный уровень обеспечивается распределённой системой областей коры головного мозга. В первую очередь, к ним относятся нейроны островковой области (Beer et al., 2002; Cardin et al., 2010), вестибулярная парieto-инсулярная кора

(Kleinschmidt et al., 2002), вентральная интрапариетальная кора (Schlack et al., 2006).

Полученные в данном диссертационном исследовании результаты демонстрируют работу описанной модели вестибулярной функции в ситуации её нарушения в условиях виртуальной реальности. Так, в эксперименте №1 были обнаружены характерные изменения глазодвигательной активности в различных условиях предъявления стимуляции. При ширине угла обзора в  $45^\circ$  испытуемые успешно решали задачу фиксации взглядом неподвижной точки на фоне движущегося зрительного стимула. Однако при увеличении ширины угла обзора до  $90^\circ$  в пространственно-временных траекториях движений глаз обнаружен ОКН, циклы которого сменялись чередой морганий. То есть, согласно предложенной модели, при увеличении интенсивности зрительного сигнала путём увеличения ширины угла обзора, возникла реализация компенсаторного механизма стабилизации изображения на сетчатке – ОКН – призванного уменьшить степень сенсорного конфликта. Когда значение ширины угла обзора достигло  $180^\circ$ , величина вклада ретинального сигнала в сенсорный конфликт стала настолько большой, что механизм ОКН оказался недостаточным для снижения степени конфликта. Поэтому в третьем условии в профилях движений глаз наблюдался нарушенный ОКН из небольшого количества циклов, за которым следовал комплекс высокоамплитудных саккадических движений и череда морганий.

В эксперименте №2 с участием спортсменов – фигуристов, футболистов и ушуистов – обнаружены характерные движения глаз, соответствующие различным уровням устойчивости вестибулярной функции, приобретённым в результате профессиональной деятельности. Так, у фигуристов уже при ширине угла обзора в  $90^\circ$  обнаружены дополнительные саккады небольшой амплитуды и непродолжительные фиксации, способствующие удержанию взгляда на фиксационной точке. При увеличении ширины угла обзора до  $180^\circ$  у группы фигуристов, в отличие от остальных испытуемых, обнаружен ОКН, однако форма его реализации более примитивна – медленные фазы ОКН имели

«ступенчатый» профиль благодаря разделению их на более короткие отрезки. В результате выполнения такой формы ОКН фигуристы испытывали иллюзию и дискомфортные ощущения значительно в меньшей степени, чем другие группы испытуемых.

В эксперименте №3 при использовании вращающегося виртуального оптокинетического барабана были созданы условия инициации сенсорного конфликта средней степени интенсивности. Оказалось, что при возникновении иллюзии в таких условиях медленная фаза ОКН увеличивает свою длительность. Таким образом, при наблюдении вращающегося стимула происходит угасание ОКН (Young et al., 1976; Усачёв, 1995), что приводит к нарушению работы вестибулярной функции и появлению иллюзии движения собственного тела. При этом возникновение иллюзии, напротив, восстанавливает реализацию нистагменной активности.

В параграфе 5.2. «Оценка эффективности использования технологии виртуальной реальности для изучения иллюзии движения собственного тела» отмечаются такие преимущества установок виртуальной реальности как наличие динамической подстройки изображения при перемещении испытуемого, возможности создания любого вида объёмной стимуляции, а также высокая иммерсивность, позволяющая инициировать сенсорный конфликт различной степени интенсивности.

### **Общие выводы диссертационного исследования**

1. Теоретический анализ проблемы изучения иллюзии движения собственного тела обнаружил, что в качестве основного психофизиологического механизма данного феномена принято рассматривать возникновение сенсорного конфликта между сигналами от различных органов чувств.
2. В результате анализа литературы сделан вывод о необходимости создания надёжного и объективного инструмента оценки выраженности иллюзии движения собственного тела.

3. Разработана модель формирования иллюзии движения собственного тела как одного из состояний системы определения положения тела в пространстве, которая включает в себя блок интеграции сенсорной информации, блок «Когнитивные факторы» и блок «Оптокинетический нистагм», регулирующий выраженность иллюзии.
4. Разработана авторская методика изучения иллюзии движения собственного тела при использовании системы виртуальной реальности, включающая в себя разработку и предъявление уникальных виртуальных сцен, инициирующих возникновение иллюзии у наблюдателей.
5. Разработана авторская методика оценки выраженности иллюзии движения собственного тела на основе анализа глазодвигательных показателей.
6. Установлено влияние сенсорных факторов «ширина угла обзора» и «скорость движения стимуляции» на выраженность иллюзии – наибольшие значения данных факторов приводят к большей выраженности иллюзии движения собственного тела.
7. Установлено влияние когнитивного фактора «устойчивость системы определения положения тела в пространстве» на выраженность иллюзии движения собственного тела. Индивиды, обладающие более устойчивой системой, переживают иллюзию меньшей интенсивности.
8. Выявлена роль нистагменных движений глаз в формировании иллюзии движения собственного тела – нарушения в реализации оптокинетического нистагма приводят к нарушениям в работе системы определения положения тела в пространстве и повышению выраженности иллюзии.
9. Использование установки виртуальной реальности CAVE-system доказало свою эффективность в изучении иллюзии движения собственного тела.



Основное содержание диссертации отражено в 17 публикациях (общий объем – 6,55 п.л.; авторский вклад – 3,75 п.л.).

Публикации в изданиях, индексируемых в Web of Science, Scopus, RSCI, а также в рецензируемых научных изданиях из перечня рекомендованных Минобрнауки России, утвержденных Ученым Советом МГУ для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 19.00.02 – Психофизиология (психологические науки).

- 1) Kovalev, A. Figure skater's eye movements as indices of vection: Vr study / A. Kovalev, G. Menshikova, O. Klimova // Perception. — 2014. — Vol. 43, no. 1\_suppl. — P. 105–106. – 0,1 п.л./0,04 п.л. [ИФ WoS=1,087].
- 2) Kovalev, A. Testing the vestibular function development in junior figure skaters using the eye tracking technique / G. Menshikova, A. Kovalev, O. Klimova et al. // Procedia - social and behavioral sciences. — 2014. — Vol. 146. — P. 252–258. – 0,1 п.л./0,03 п.л. [SCOPUS SJR=0,156].
- 3) Ковалёв, А.И. Векция в виртуальных средах: психологические и психофизиологические механизмы формирования / А.И. Ковалёв, Г.Я. Меньшикова // Национальный психологический журнал. — 2015. — Т. 20, № 4. — С. 91–104. – 1,25 п.л./0,65 п.л. [ИФ РИНЦ=1,167].
- 4) Ковалёв, А.И. Содержание профессиональной деятельности как фактор успешности применения технологий виртуальной реальности / А.И. Ковалев, Г.Я. Меньшикова, О.А. Климова, В.В. Барабанщикова // Экспериментальная психология. — 2015. — № 2. — С. 45–59. – 1 п.л./0,4 п.л. [ИФ РИНЦ=0,706].
- 5) Kovalev, A. Eye movements as indicators of vestibular dysfunction / G. Menshikova, A. Kovalev, O. Klimova, A. Chernorizov // Perception. — 2015. — Vol. 44, no. 8-9. — P. 1103–1110. – 0,47 п.л./0,2 п.л. [ИФ WoS=1,087].
- 6) Kovalev, A. Evaluation of vestibular dysfunctions in athletes using eye tracking and virtual reality / A. Kovalev, O. Klimova, G. Menshikova // International Journal of Psychophysiology. — 2016. — Vol. 108. — P. 142–142. – 0,1 п.л./0,05 п.л. [ИФ WoS=2,582].

- 7) Kovalev, A. The link between slow phases of opto-kinetic nystagmus and vection perception in virtual reality / A. Kovalev, G. Menshikova // Perception. — 2016. — Vol. 45, no. S2. — P. 326–326. – 0,1 п.л./0,05 п.л. [ИФ WoS=1,087].
- 8) Kovalev, A. The study of opto-kinetic nystagmus characteristics during vection illusion perception / A. Kovalev, G. Menshikova // Psychophysiology. — 2016. — Vol. 53, no. S1. — P. 90–90. – 0,1 п.л./0,05 п.л. [SCOPUS SJR=1,54].
- 9) Kovalev, A. The testing of motion sickness resistance in virtual reality using eye tracking / O. Klimova, A. Kovalev // Perception. — 2016. — Vol. 45, no. S2. — P. 310–310. – 0,1 п.л./0,05 п.л. [ИФ WoS=1,087].
- 10) Kovalev, A. Evaluation of vestibular dysfunction using the virtual reality and eye tracking technologies / M. Kovyazina, G. Aziatskaya, A. Kovalev, O. Klimova, G. Menshikova // Brain Injury. — 2017. — Vol. 31, no. S. 6–7. — P. 789–789. – 0,1 п.л./0,03 п.л. [ИФ WoS=1,971].
- 11) Kovalev, A. The application of virtual reality technology to test the motion sickness resistance / G. Menshikova, A. Kovalev, O. Klimova, V. Barabanshchikova // Psychology in Russia: State of the Art. — 2017. — Vol. 10, no. 3. — P. 151–164. – 1,13 п.л./0,7 п.л. [SCOPUS SJR=0,212].
- 12) Kovalev, A. The influence of stimulus rotation speed on vection perception in virtual reality / A. Kovalev // Psychophysiology. — 2017. — Vol. 54, no. S1. — P. S103–S103. – 0,1 п.л./0,1 п.л. [SCOPUS SJR=1,54].

**Публикации в других изданиях:**

- 13) Ковалёв, А.И. Профиль опто-кинетического нистагма как индикатор выраженности иллюзии векции / А.И. Ковалёв, О.А. Климова, Г.Я. Меньшикова // Естественно-научный подход в современной психологии. — 2014. — С.403 – 409. – 0,4 п.л./0,2 п.л.
- 14) Ковалёв, А.И. Оценка нарушений положения тела в виртуальном пространстве с использованием глазодвигательных индикаторов / А.И. Ковалёв, Г.Я. Меньшикова, О.А. Климова // От истоков к современности: 130 лет организации психологического общества при Московском

университете: Сборник материалов юбилейной конференции. — 2015. — Т. 4. — С. 434–436. — 0,4 п.л./0,2 п.л.

- 15) Ковалёв, А.И. Параметры движений глаз как предикторы успешности взаимодействия с виртуальной реальностью / А.И. Ковалёв, О.А. Климова // Сборник материалов Молодёжной секции Международной научной конференции памяти Е.Н. Соколова "Человек-нейрон-модель". — 2016. — С. 53–59. — 0,3 п.л./0,2 п.л.
- 16) Ковалёв, А.И. Влияние скорости вращения стимуляции на выраженность иллюзии движения собственного тела / А.И. Ковалёв // Материалы съезда российского психологического общества. — 2017. - Т. 1. — С. 348–350. — 0,4 п.л./0,4 п.л.
- 17) Ковалёв, А.И. Микроструктурный анализ движений глаз как метод изучения динамики протекания иллюзии движения собственного тела / А.И. Ковалёв // Материалы всероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные исследования современной психологии: результаты и перспективы развития». — 2017. — С. 1566 – 1575. — 0,4 п.л./0,4 п.л.