

ГРАЧЕВА

Мария Александровна

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ
СТЕРЕОЗРЕНИЯ И ЕГО КОРРЕКЦИИ**

03.01.09 – математическая биология, биоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва, 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН)

Научный руководитель: **Рожкова Галина Ивановна,**
доктор биологических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук

Научный консультант: **Тахчиди Христо Периклович,**
доктор медицинских наук, профессор, член-корр. РАН, проректор по лечебной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Официальные оппоненты: **Алексеевко Светлана Валентиновна,**
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физиологии им. И.П. Павлова» Российской академии наук

Корнюшина Татьяна Афанасьевна,
доктор биологических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного автономного учреждения межотраслевого научно-технического комплекса «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова Министерства здравоохранения Российской Федерации

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Московский научно-исследовательский институт глазных болезней имени Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится « » _____ 2017 года в _____ час. _____ мин. на заседании диссертационного совета Д 002.077.04 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук по адресу: 127051, г. Москва, Большой Каретный переулок, д. 19, стр. 1.

С текстом автореферата и диссертации можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук», а также на сайте ИППИ РАН по адресу <http://iitp.ru>.

Автореферат разослан « » _____ 2017 года

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 002.077.04, доктор биологических наук,
профессор

Рожкова Г.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Стереозрение – это способность воспринимать внешнее окружение как пространство, заполненное трехмерными объектами, расположенными на разном удалении от глаз и друг от друга. Исследованию стереозрения человека посвящено огромное число работ, относящихся к таким областям науки, как физиологическая оптика, психофизика, нейрофизиология, теоретическая и клиническая офтальмология, стереоскопия (Валюс, 1962; 1986; Клементьев, 1952).

Из принципиальных изменений в общих представлениях о физиологии пространственного зрения отметим, во-первых, сложившуюся к настоящему времени концепцию множественности мозговых механизмов анализа зрительной пространственной информации, параллельно функционирующих в процессе формирования видимых образов (Котлярский, 1982; Левашов, 1985; Рожкова, Плосконос, 1988; Плосконос, 1989; Рожкова, 1992; Wolfe, Held, 1981; Cogan, 1987), и, во-вторых, признание того факта, что базовые механизмы стереозрения начинают работать у человека очень рано – буквально в первые месяцы жизни, – и развиваются быстрыми темпами (Atkinson, Braddick, 1976; Held, 1980; Petrig et al., 1981; Simons, 1981; Birch et al., 1982; Braddick et al., 1983; Birch, Petrig, 1996; Ciner et al., 1996; Birch, Salomao, 1998; Teller, 1997; Atkinson, 2000; Brown et al., 2007). Из этого следует, что состояние стереозрения у детей нужно контролировать почти с рождения, притом достаточно часто, применяя целый набор тестов для оценки функционирования разных параллельных каналов. Задача разработки такого набора тестов не только далека от завершения, но и не всеми оптометристами осознается в полной мере, поэтому процесс идет не слишком быстро.

В последние два десятилетия наблюдалось быстрое проникновение стереотехнологий (называемых часто 3D-технологиями) не только в новые профессиональные области, но и в разные сферы социальной жизни – обучение, спорт, развлекательную индустрию. В результате массового освоения 3D-техники выяснилось, что далеко не все люди способны успешно с ней работать или получать удовольствие от компьютерных 3D-игр и стереокинофильмов. Это обстоятельство поставило на повестку дня две взаимосвязанные задачи: 1) обеспечение полноценного исследования стереозрения пользователей для прогнозирования проблем с 3D-техникой и 2) наилучшее возможное согласование характеристик этой техники со свойствами механизмов стереозрения человека. Решение этих задач требует разработки методов оценки стереозрения, пригодных для массового тестирования в широком возрастном диапазоне и позволяющих провести необходимые исследования достаточно быстро.

К сожалению, общепринятых стандартных тестов для оценки стереозрения в настоящее время не существует. Как в научных исследованиях, так и в клинической практике разные специалисты используют разные средства – либо оригинальные собственные разработки, либо нестандартизированные коммерческие тесты, различающиеся по своим критическим параметрам, либо самодельные модификации коммерческих тестов. Это создает большие трудности при сравнительном анализе результатов разных исследований, систематизации полученных данных и создании

адекватных представлений о влиянии на стереовосприятие различных факторов (Westheimer, 2013; Westheimer, McKee, 1980).

Одним из самых серьёзных препятствий при оценке показателей стереозрения является их существенная зависимость от параметров тестовых стимулов и условий тестирования. Определение оптимального режима измерений требует большого объема работы, поэтому многие проблемы таких измерений до сих пор не решены. Параллельно с задачей оптимизации измерительных процедур – создания удобных и эффективных средств диагностики – стоит задача функциональной коррекции нарушений стереозрения (в частности, косоглазия и амблиопии). Создание адекватных и физиологически обоснованных процедур для тренировки и коррекции подразумевает анализ существующих приемов и сравнение их эффективности, определение оптимальных методов, выбор вида стимулов и значений параметров.

Широкие возможности современной компьютерной техники по части варьирования параметров тестов и организации управления процедурами позволяют надеяться, что компьютеризация методов оценки и коррекции стереозрения будет значительно способствовать решению указанных проблем.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: разработка современных методик и тестов для точной и скрининговой оценки стереовосприятия и его коррекции с применением 3D-технологий на основе критического анализа существующих методов измерения показателей стереозрения в клинике и в лабораторных условиях.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать проблемы компьютеризации процедур для оценки и коррекции стереозрения человека, оценить преимущества и недостатки разных методов сепарации левого и правого изображений стереопары.
2. Разработать программу, предназначенную для оценки остроты стереозрения с использованием субпиксельных диспаратностей и предусматривающую возможность использования двух методов сепарации: цветового анаглифного и поляризационного.
3. Провести сравнительное исследование преимуществ и недостатков цветового анаглифного и поляризационного методов сепарации в отношении оценки остроты стереозрения и фузионных резервов.
4. Разработать экспериментальные варианты табличных тестов для скрининговой оценки показателей стереозрения и провести их лабораторную и клиническую апробацию.
5. Провести исследование восприятия стереофильмов (фильмов 3D-формата) людьми с различными показателями стереоостроты зрения, в том числе и стереослепыми.
6. Разработать компьютерные коррекционно-тренировочные программы для восстановления и тренировки нарушенных механизмов стереовосприятия и провести их лабораторную и клиническую апробацию.

Научная новизна

Впервые разработана и апробирована оригинальная программа для оценки стереозрения с возможностью реализации субпиксельных диспаратностей для тестовых стимулов разного типа, в частности элементов Габора. Программа предусматривает использование как цветового анаглифного, так и поляризационного методов сепарации, что позволяет проводить прямое их сравнение в условиях максимального сходства всех прочих параметров процедуры.

Впервые экспериментально показаны значительные преимущества поляризационных 3D-технологий по сравнению с цветовым анаглифным методом сепарации с точки зрения получения более точных и надежных данных.

Обоснована целесообразность замены традиционной окклюзии, применяемой при лечении амблиопии, виртуальной окклюзией, которая обеспечивает большую эффективность и комфортность тренировок.

Проведенное исследование восприятия стереофильмов (фильмов 3D-формата) людьми с различными показателями стереоостроты зрения, в том числе и стереослепыми, выявило некорректность существующего критерия стереослепоты и необходимость его замены.

Теоретическая и практическая значимость работы

Проведен сравнительный анализ методов, используемых для оценки и коррекции стереозрения, позволяющий наметить направления оптимизации тестовых процедур для скрининга и точной оценки показателей функционирования механизмов стереовосприятия, в первую очередь – стереоскопической остроты зрения, в целях ранней диагностики и мониторинга, а также подобрать оптимальные алгоритмы тренировочно-коррекционных процедур.

Разработаны и апробированы оригинальные табличные тесты и компьютерная программа для оценки стереозрения (св-во о регистрации № 2013610976), которые могут быть использованы на практике при скрининговых обследованиях и в клинической работе. Перспективность растровых табличных тестов, в которых впервые использованы многоцветные случайно-точечные стереограммы, подтверждена клиническими испытаниями.

Авторская программа, предусматривающая использование субпиксельных диспаратностей для повышения точности оценки стереопорогов при работе со стимульными изображениями разного вида, в том числе элементами Габора, может обеспечить проведение научных лабораторных исследований стереозрения на новом методическом уровне.

Продемонстрированные в работе преимущества поляризационной технологии сепарации изображений стереопары по сравнению с цветовой анаглифной технологией при оценке стереопорогов и фузионных резервов указывают на необходимость отказа от цветовой сепарации в измерительных процедурах и учета метода сепарации при сравнении результатов различных исследований.

Показана эффективность разработанных и апробированных модулей коррекционного комплекса программ для тренировки и развития бинокулярных функций, основанных на пошаговом физиологически обоснованном усложнении зрительных задач и постепенном включении в работу бинокулярных механизмов.

Создана программа для лечения амблиопии, основанная на использовании виртуальной окклюзии, реализованной при помощи поляризационной сепарации (св-во о регистрации № 2013610976). На клинической базе проведено сравнение эффективности тренировок с виртуальной и реальной окклюзией и показаны преимущества виртуальной окклюзии.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Применение современных технологий реализации поляризационного метода сепарации левого и правого изображений позволяет более точно и надежно оценивать показатели стереозрения, чем применение цветового анаглифного метода.
2. Использование субпиксельных диспаратностей позволяет добиться существенного повышения точности измерений, но делает процедуру длительной и утомительной.
3. Разработанные табличные тесты на основе растровой технологии можно считать эффективными инструментами для скрининговой оценки стереозрения у детей и взрослых.
4. Общепринятый в настоящее время критерий стереослепоты требует пересмотра.
5. Метод виртуальной окклюзии, реализованный в разработанной программе «Поиск», позволяет быстро добиваться хороших результатов в лечении амблиопии (синдрома ленивого глаза), и во многих случаях может полностью заменить дискомфортный метод заклейки амблиопичного глаза.

Апробация результатов

Результаты исследований были представлены **на семинарах** лаборатории №8 «Обработка сенсорной информации», сектора 8.1 «Моделирование биоинформационных процессов в зрительных системах», лаборатории №11 «Зрительные системы» ИППИ РАН, конференциях и выставках.

Российские конференции:

XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Федоровские чтения» (Москва, 2013),

37 Конференция-школа молодых ученых и специалистов «Информационные технологии и системы» (Калининград, 2013),

VI Российский общенациональный офтальмологический форум (Москва, 2013),

Научная конференция офтальмологов «Невские горизонты» (Санкт-Петербург, 2014, 2016),

Международные конференции:

V и VI Международная научно-техническая конференция "Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях" (Москва, Россия, 2013, 2014),

European Conference on Visual Perception – ECVP-36 (Bremen, Germany, 2013),

ECVP-37 (Belgrad, Serbia, 2014), ECVP-38 (Liverpool, Great Britain, 2015), ECVP-39

(Barcelona, Spain, 2016), ECVP-40 (Berlin, Germany, 2017),

The 41st annual meeting of EPOS – European Paediatric Ophthalmological Society (Saint-Petersburg, Russia, 2015),

1st International Symposium on Visual Physiology, Environment, and Perception (Riga, Latvia, 2016).

Выставки:

Выставка MedSoft (Москва, 2012),

Выставка разработок молодых ученых U-NOVUS (Томск, 2014),

I Молодежный форум «Молодежь России» (Москва, 2014).

Часть исследования была выполнена при поддержке **грантов**:

Программа ОНИТ РАН Ш.3;

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI60414X0076);

Программа «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере: «Создание безочкового растрового набора тестов для быстрой проверки бинокулярного зрения».

Получены два **свидетельства о регистрации** разработанных в ходе выполнения работы программ для ЭВМ:

Большаков А.С., Грачева М.А., Рожкова Г.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013610976: «Интерактивная программа для повышения остроты зрения и скорости зрительной работы при амблиопии – ПОИСК». Дата регистрации: 9 января 2013 года.

Большаков А.С., Грачева М.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013610976: «Интерактивная тестовая программа для оценки остроты стереозрения - СТЕРЕОПОРОГ». Дата регистрации: 28 ноября 2012 года

Исследования, входящие в настоящую работу, были отмечены **наградой**:

Диплом 3 степени «За лучшую статью в журнале “Мир техники кино”» (Москва, 2014).

Личный вклад автора

Программа для точной оценки стереопорогов разработана автором при участии Большакова А.С.; апробация и анализ результатов проведены лично автором.

Содержание и дизайн скрининговых растровых тестов разработаны автором, идеология тестов обсуждалась с научным руководителем. Клиническая апробация тестов проведена Рычковой С.И., анализ результатов апробации проведен автором.

Эксперименты по исследованию восприятия 3D-контента людьми с различными показателями стереоостроты и анализ полученных результатов проведены автором.

Эксперименты по оценке фузионных резервов проводились автором и Васильевой Н.Н. Анализ и интерпретация полученных данных проведены автором.

В разработке и апробации комплекса СКАБ, проводимой в рамках проекта RFMEFI60414X0076 под руководством профессора Тахчиди Х.П., автор участвовал как член коллектива Отдела разработки прикладных медицинских технологий и медицинской техники ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова. Автором совместно с Рычковой С.И. был проведен анализ данных, полученных в ходе клинической апробации комплекса.

Программа «Поиск» разработана автором совместно с Большаковым А.С. и Рожковой Г.И. Клиническая апробация на пациентах проведена Рычковой С.И. и

Наумовой О.И. Дизайн эксперимента предложен автором, анализ и интерпретация результатов проведены совместно автором и Рычковой С.И.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 29 научных работ: 8 статей в журналах из списка ВАК, 10 статей в сборниках, 10 тезисов международных конференций, 1 методическое пособие.

Объём и структура работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Список цитируемой литературы включает 174 источника (из них 100 иностранных). Общий объём диссертации составляет 157 страниц печатного текста, включая 45 рисунков и 14 таблиц.

Содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

Глава 1 состоит из трёх разделов. В **разделе 1.1** рассмотрены основные понятия из области стереозрения, их взаимосвязи и отличия, современные схемы устройства бинокулярной зрительной системы, особенности различных модулей и механизмов. В **разделе 1.2** рассмотрены теоретические и практические проблемы оценки стереозрения в различных целях; представлены существующие методы и тесты для оценки стереоостроты зрения и фузионных резервов. В **разделе 1.3** проанализирована литература, посвященная бинокулярным зрительным расстройствам и их функциональному лечению.

На сегодняшний день в литературе по стереозрению часто некорректно употребляются даже основные понятия, поэтому первым шагом при написании диссертации была систематизация используемых терминов.

Стереозрение, стереопсис, пространственное зрение, глубинное зрение – это синонимы, обозначающие способность воспринимать объемную форму предметов, различать относительную и абсолютную удаленность рассматриваемых объектов. Стереозрение может обеспечиваться как бинокулярными, так и монокулярными механизмами. Монокулярные и бинокулярные модули стереозрения работают на разных принципах, но вносят вклад в решение общей задачи – определить трехмерную форму объектов и их расположение по глубине.

В отличие от стереозрения, **стереоскопическое зрение** – чисто бинокулярная способность определять объемную форму и глубину на основе различия двух сетчаточных изображений (диспаратности).

Качество стереозрения человека оценивается посредством целого ряда показателей: стереоострота, фузионные резервы, скорость бинокулярной интеграции, бинокулярная кооперация, фиксационная диспаратность, ближайшая точка конвергенции и др. Наиболее важными из них представляются стереоострота зрения и фузионные резервы, проблемам оценки которых посвящена данная работа.

Стереоострота зрения, острота стереозрения, острота глубинного зрения – это количественная характеристика способности зрительной системы замечать малые

различия в расположении объектов по глубине. На практике стереоостроту количественно характеризуют значениями **стереопорога** – минимального воспринимаемого смещения тест-объектов по глубине. Получаемые при измерениях значения стереопорогов существенно зависят от параметров тест-объектов, условий наблюдения, возраста испытуемых, в связи с чем данные разных исследователей значительно различаются (рис. 1, а). В оптимальных условиях наблюдения у молодых людей минимальные пороги нередко составляют 1-5 угловых секунд, и лишь в отдельных случаях превышают 60 угловых секунд (рис. 1, б).

а

б

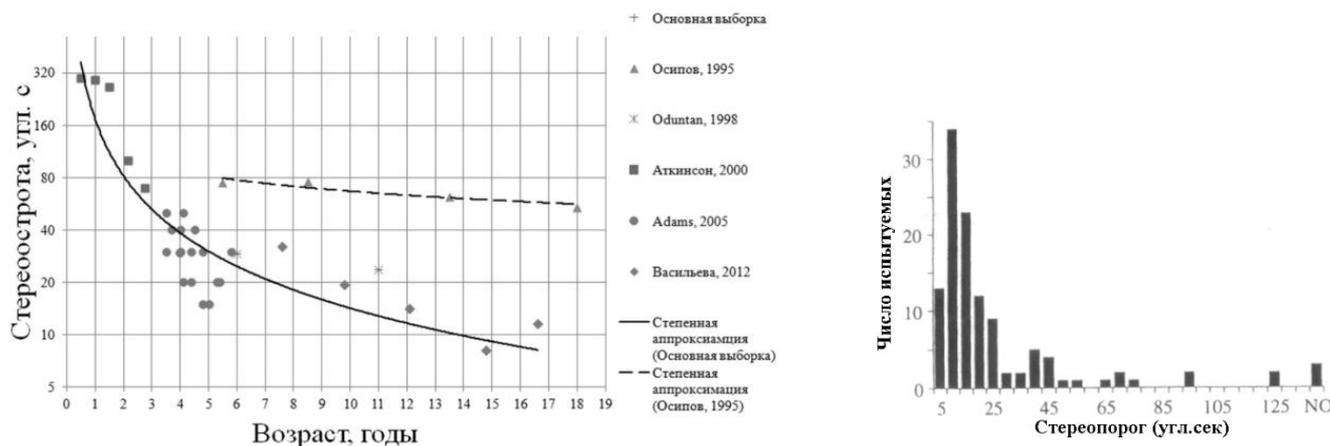


Рис. 1. а – Сводный график, иллюстрирующий возрастную динамику стереопорогов по данным нескольких авторов (Осипов, 1995; Васильева, 2012; Oduntan, 1998; Atkinson, 2000; Adams, 2005). б – Распределение стереопорогов в выборке, состоящей из 117 студентов (Westheimer, 1994).

Фузионные резервы – это показатель способности зрительной системы человека сохранять единый бинокулярный образ в условиях рассогласования аккомодации и конвергенции. Оценивают фузионные резервы по максимальному отклонению от правильного угла конвергенции в сторону его увеличения (конвергентные, или положительные, резервы) или уменьшения (дивергентные, или отрицательные, резервы), при котором еще сохраняется единый стереообраз. Поскольку у оптометристов до сих пор основным методом измерения фузионных резервов остаётся приставление к глазу призм нарастающей силы, фузионные резервы обычно выражают в призматических диоптриях; можно также выражать фузионные резервы и в угловых градусах.

Основными причинами нарушения стереозрения являются такие бинокулярные расстройства, как амблиопия и косоглазие. **Амблиопия** – это ослабление зрения в связи с дисфункциями центральных зрительных механизмов. **Косоглазие** – это нарушение, при котором ось одного или обоих глаз направлена не на фиксационный объект.

Начальный этап лечения амблиопии предполагает непременно использование **окклюзии** – исключения ведущего глаза из зрительного акта посредством повязки или заклейки. Компьютерные 3D-технологии обеспечивают возможность более щадящей процедуры виртуальной окклюзии. Для лечения косоглазия широко применяются методы искусственного предъявления стимулов косящему глазу под объективным углом косоглазия, мелькания тестовых стимулов в косящем глазу для его активации,

колебание тестовых стимулов с постепенным приближением оси косящего глаза от объективного угла косоглазия к ортофорической позиции. Приборная реализация таких процедур трудна и для медперсонала, и для пациента, а возможности варьирования параметров стимуляции ограничены.

Создание и апробация большого количества стимулов и разнообразных игровых схем как для тренировки, так и для тестирования, возможны только при компьютеризации процедур; ни одна некомпьютерная процедура не может предоставить сопоставимого функционала. Однако компьютеризация методов оценки и коррекции бинокулярных зрительных функций возможна только с использованием технологий сепарации, выбор которых требует учета их специфики.

В главе 2 проанализированы существующие методы сепарации левого и правого изображений стереопары, описаны использованная аппаратура и программы.

В работе рассмотрены основные методы сепарации изображений стереопары:

- 1) оптико-механические (в том числе шлемы виртуальной реальности),
- 2) растровые (линзовый и параллакс-барьерный методы),
- 3) цветовые (анаглифный и спектральный варианты),
- 4) поляризационные (на основе линейной и круговой поляризации),
- 5) временной (затворный),

Кроме того, проанализированы возможности создания стереоизображений на основе поперечной хроматической аберрации.

В главе 3 представлены результаты разработки и апробации собственных программ и тестов для точной и скрининговой оценки стереоостроты зрения.

В разделе 3.1 описана авторская компьютерная программа «Стереопорог», предназначенная для точной оценки стереоостроты зрения. Как было обнаружено в приборных тестах, использующих в качестве стимулов реальные объекты, расположенные на разной глубине, стереопороги человека нередко составляют единицы угловых секунд. Соответственно, при компьютерной имитации измерительной процедуры требуется обеспечить генерацию стереопар с такими же малыми значениями диспаратностей. Поскольку размеры пикселей для этих задач велики, в тестовых программах используют имитацию сдвигов на доли пикселя и создают субпиксельные диспаратности.

Один из принципов создания субпиксельных диспаратностей для изображений с градуальными переходами яркости иллюстрируется рисунком 2. Монитор производит двойную дискретизацию изображения – по пространственным и по яркостным параметрам – и если дискретизация по яркости достаточно тонкая, то изображения на экране границ, теоретически сдвинутых на долю пикселя, окажутся заметно различимыми. Введение субпиксельных диспаратностей позволяет существенно повысить точность оценок стереоостроты, что особенно важно при измерениях на близких расстояниях.

В разработанной при выполнении диссертационного исследования программе «Стереопорог» в качестве тестовых стимулов предусмотрены элементы Габора и синусоидальные решетки варьированной пространственной частоты. Такие стимулы позволяют использовать для создания субпиксельных диспаратностей фазовые сдвиги

тестового паттерна, что и было реализовано алгоритмически. Программа обеспечивает возможность реализации тестовых процедур с использованием цветового и поляризационного методов сепарации изображений. В программе также существует режим скрининговой оценки стереоостроты (без использования субпиксельных диспаратностей), который может применяться отдельно или для определения исходного значения диспаратности стимула в точных тестах. Скрининговый режим программы использовался в разделе 3.3.

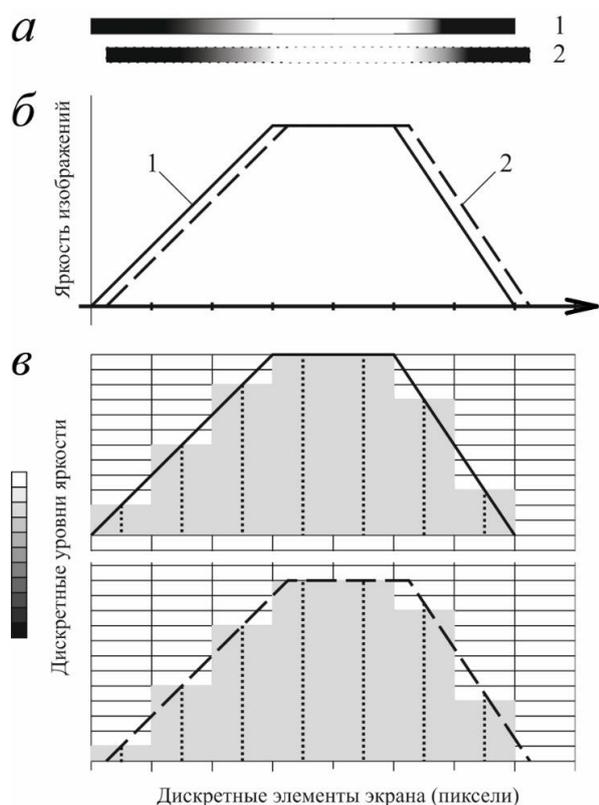


Рис. 2. Схема, поясняющая формирование субпиксельных диспаратностей.

а – распределение яркости в исходных изображениях с малым сдвигом; *б* – график изменения уровня яркости в этих изображениях по оси абсцисс; *в* – схематическое отображение двойной дискретизации исходного сигнала на дисплее: по уровню яркости и по пространственной координате.

На оси абсцисс отмечены границы пикселей. Каждому пикселю выставляется конкретное значение яркостной переменной. Нижний график соответствует стимулу с субпиксельным сдвигом. Как видно из схемы, уровни яркости на двух графиках имеют разные значения на некоторых отрезках оси абсцисс, что и формирует у наблюдателя ощущение небольшого – субпиксельного – пространственного сдвига.

Задачами экспериментальной части работы с программой «Стереопорог» были:

- сравнение режимов с использованием больших многопериодических паттернов (синусоидальных решеток) и паттернов меньшей площади (элементов Габора);
- оценка влияния метода сепарации на величину получаемых порогов стереозрения;
- исследование функциональности программы, удобства её использования в экспериментальной оценке стереоостроты;
- оценка зависимости показателей стереоостроты зрения от пространственной частоты паттерна.

Апробацию программы и сравнение двух методов сепарации проводили в два этапа с разными тестовыми стимулами: синусоидальными решетками (серия I) и элементами Габора (серия II). Перед началом обеих экспериментальных серий у всех испытуемых проводили проверку состояния оптики глаз и, при необходимости, обеспечивали полную оптическую коррекцию рефракции. Для предъявления тестовых изображений был использован монитор LG Flatron D2342P-PN с построчной поляризацией пикселей, позволяющий реализовывать как поляризационное, так и цветовое разделение изображений стереопары. Все измерения проводились при расстоянии 6 м от экрана до испытуемого.

В серии I в качестве тестовых стимулов использовались две вертикальные синусоидальные решетки размером 5° по горизонтали (с шириной, равной ширине экрана) и 1.25° по вертикали, расположенные одна над другой. Одна из решеток имела нулевой параллакс, параллакс другой решетки варьировали по величине и, при нормальном стереозрении, решетка могла восприниматься выступающей из экрана (рис. 3). Испытуемый должен был указать выступающую решетку, и после ответа параллакс менялся с адаптивным шагом. Наименьшее значение параллакса, обеспечивающее восприятие сдвига по глубине, принимали за порог.

Такие стимулы были выбраны специально, поскольку они используются в коммерческой программе «Стереопсис», основанной на использовании цветового анаглифного метода сепарации. В отличие от программы «Стереопсис», наша программа «Стереопорог» предусматривала возможность использования и цветового анаглифного, и поляризационного методов сепарации.

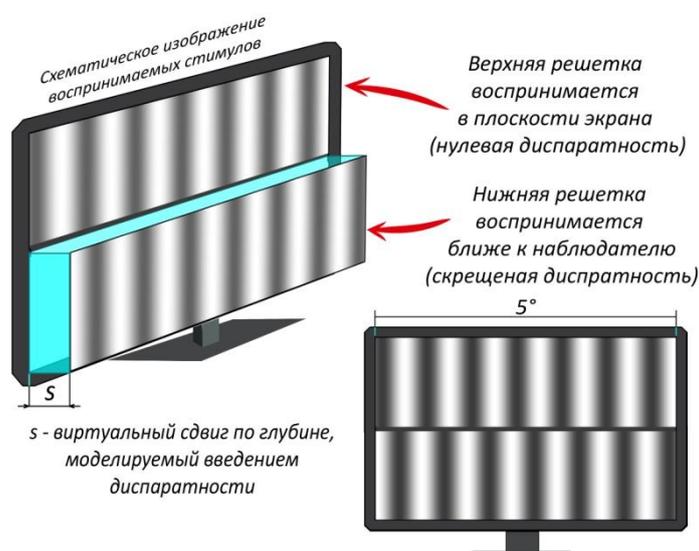


Рис. 3. Схематическое изображение вида тестового стимула и воспринимаемой в стереочках картины (серия I).

В серии принимали участие 10 испытуемых от 22 до 47 лет. Для каждого испытуемого проводили измерения с пространственными частотами решетки 1, 2, 4, 8, 12 цикл на градус, порядок следования частот был квазислучайным.

Результаты серии I представлены на рис. 4. Серия I показала, что в большинстве случаев поляризационный метод сепарации дает лучшие значения стереоостроты, чем цветовой анаглифный. Однако использование стимулов вида синусоидальных решеток создавало трудности для однозначного фузирования: так как паттерн имеет много идентичных элементов, иногда фузировались соседние периоды решетки, что очень существенно искажало измерения. Как видно, показатели менялись индивидуально в зависимости от пространственной частоты и метода сепарации.

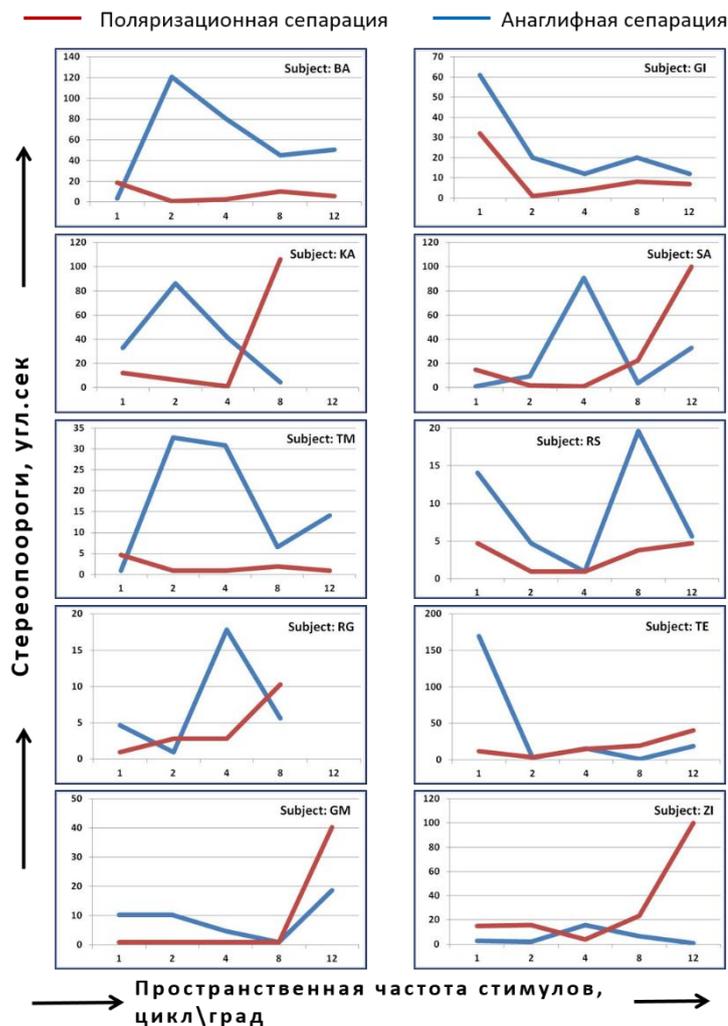


Рис. 4. Серия I. Индивидуальные данные оценки стереопорогов.

В **серии II** каждая стимульная конфигурация представляла собой четыре элемента Габора (фрагменты синусоидальных решеток в гауссовом окне) с вертикальной ориентацией решеток (рис. 5), а её угловой размер как по вертикали, так и по горизонтали составлял 2.6° . Два элемента из четырёх имели нулевой параллакс, а у двух других параллакс был отрицательным и варьировал по величине, благодаря чему они воспринимались выступающими из экрана в большей или меньшей степени. Испытуемый получал инструкцию указывать два выступающих стимула; на основе его ответов производилось изменение параллакса с адаптивным шагом. То наименьшее значение параллакса, при котором испытуемый с заданной вероятностью давал правильный ответ, принималось за стереопорог.

В этой серии принимали участие 12 испытуемых от 22 до 47 лет. Протокол исследования включал измерения на трёх пространственных частотах: 2, 4, 8 цикл/град. На каждой пространственной частоте измерения проводились сначала в последовательности анаглифная сепарация – поляризационная сепарация, затем в обратной последовательности.

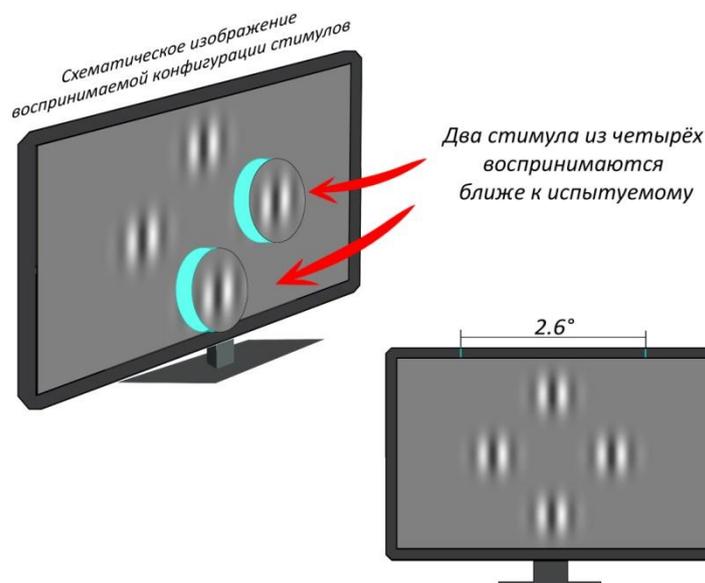


Рис. 5. Схематическое изображение вида тестового стимула и воспринимаемой в стереочках картины (серия II)

В серии II было показано, что при использовании поляризационной сепарации получаемые значения стереопорогов иногда оказываются в два-три раза ниже (лучше) по сравнению с данными, получаемыми при использовании цветовой анаглифной сепарации (рис. 6). Смена порядка тестирования с использованием этих двух методов сепарации (для оценки эффекта обучения) не оказывала решающего влияния на соотношение результатов. Отметим, что на высоких пространственных частотах тестирование посредством элементов Габора оказалось более удобным, чем тестирование синусоидальными решетками: процедура была более понятна испытуемым и занимала меньше времени.

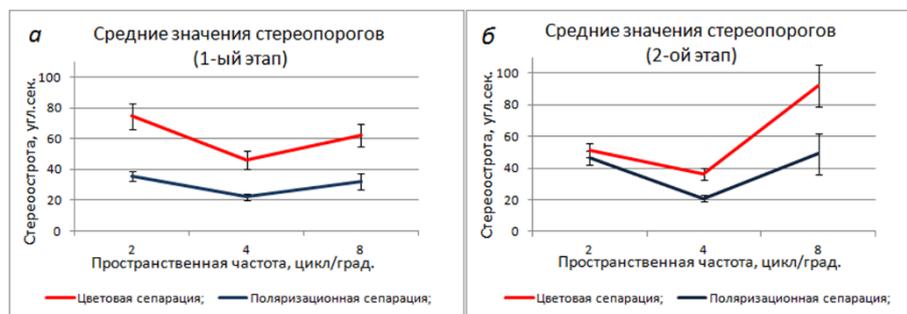


Рис. 6. Серия II. Средние значения стереопорогов. Порядок тестирования первого этапа: сначала анаглифная сепарация, потом – поляризационная (на каждой пространственной частоте); второго этапа: сначала поляризационная сепарация, потом – анаглифная (на каждой пространственной частоте).

Раздел 3.2 посвящен разработке печатных скрининговых тестов для менее точной, но более быстрой оценки стереозрения.

Апробация описанных выше программ для точной оценки стереоостроты зрения показала, что точная оценка стереоостроты занимает слишком много времени и утомительна для испытуемого, поэтому массовое использование таких процедур проблематично. По-видимому, такие программы целесообразно использовать только в

экспериментальных исследованиях и специализированных центрах. В ходе апробации, а также в ходе работ по оценке восприятия стереофильмов людьми с нарушениями стереозрения, проводимых в нашей лаборатории и другими исследователями, выяснилось, что для констатации удовлетворительного состояния бинокулярных механизмов, достаточного для их успешного использования в повседневной жизни предельно точная оценка стереоостроты не требуется. В связи с этим была поставлена задача создания удобных для врача и понятных для пациента скрининговых тестов, позволяющих с меньшей точностью, но быстро оценить качество стереозрения.

Проанализировав коммерческие зарубежные изделия такого назначения, мы пришли к выводу, что целесообразно использовать тесты, основанные на растровом методе сепарации и содержащие *случайно-точечные стереограммы (СТС)* – тестовые стимулы, в которых стереообъект закодирован диспаратностью и не воспринимается в монокулярных условиях. Растровый метод сепарации не требует использования стереочков и специального инструктажа обследуемого. Тестовые стимулы в виде СТС снижают вероятность угадывания правильного ответа, то есть повышают достоверность результатов, и облегчают принятие решения о прекращении процедуры, существенно ускоряя ее. Один из скрининговых тестов, выполненных на основе лентичулярно-растровой технологии, позволяющей наблюдать стереоизображение в условиях свободного рассматривания, представлен на рис. 7.

Разделение левого и правого изображений осуществляет оптическое покрытие из длинных тонких линз, наклеиваемое на специальным образом подготовленную стереопару. Под каждой линзой растра располагаются полосы двух изображений – правого и левого, которые, при правильном рассматривании теста, попадают соответственно в правый и левый глаз наблюдателя. Диапазон диспаратностей в данном варианте теста – от 2 до 28 угловых минут для расстояния наблюдения 50 см.

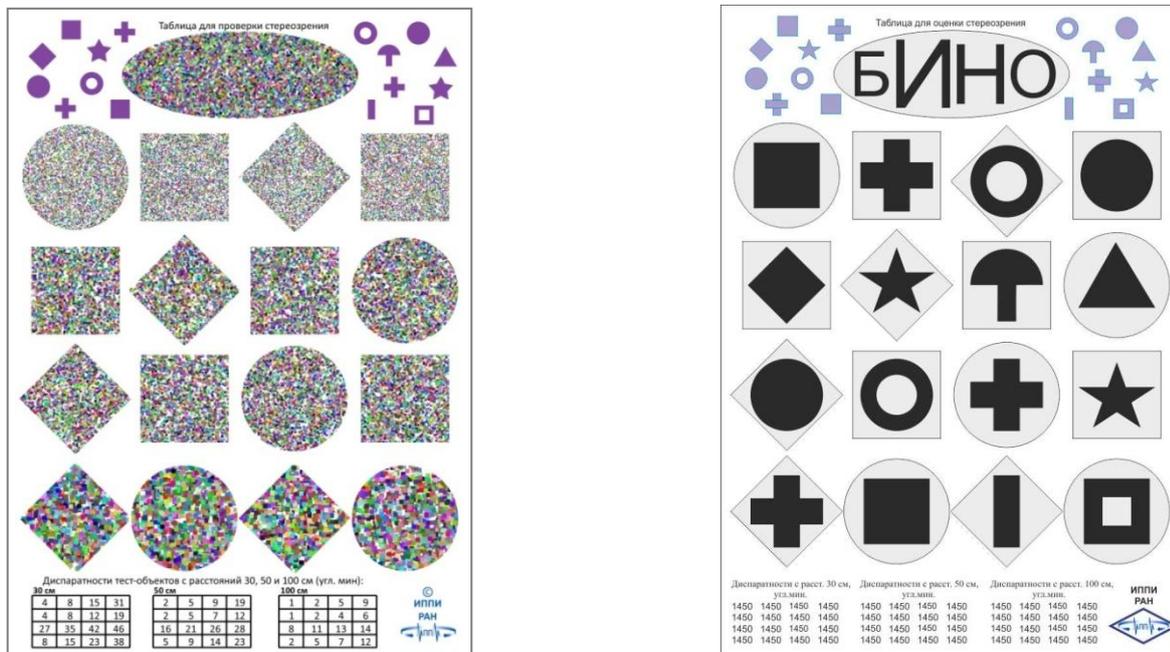


Рис. 7. Растровый тест «Бино-2» и закодированные в нем изображения.

Для оценки перспективности использования тестов была проведена их апробация и сравнение с другими общепринятыми тестами для оценки качества бинокулярного зрения, такими как широко применяемый четырехточечный тест Ворса, тест Баголини и растровый тест Ланга.

Апробация проводилась в несколько этапов: на испытуемых с нормальным зрением (эмметропия), на испытуемых с аметропией и на пациентах с аметропией и нарушениями бинокулярного зрения. На одном из этапов проводили сравнение «Био-теста» с основным аналогом – тестом Ланга.

Проведенная апробация показала, что разработанные варианты растровых табличных тестов вполне сравнимы по диагностическим возможностям с распространенными тестами для оценки бинокулярных зрительных функций и, не уступая отечественным и зарубежным аналогам, имеют ряд значительных преимуществ. «Био-тест» обладает многоцветной гаммой и удобным дизайном, что упрощает и ускоряет процесс проведения тестирования. Кроме того, тест содержит 12 или 16 стимулов (в зависимости от модификации теста) с разными значениями диспаратности, что позволяет проводить градуальную оценку нарушений и усложняет запоминание правильного ответа. Предложенные оригинальные тесты дают возможность проведения быстрых скрининговых обследований для выявления нарушений механизмов бинокулярного стереозрения.

Полученные результаты демонстрируют перспективность включения новых разработанных тестов в комплект для полноценного тестирования бинокулярного зрения.

В разделе 3.3 обсуждаются результаты проведенной работы по созданию тестов для точной и скрининговой оценки стереоостроты зрения и приводятся результаты дополнительных экспериментов для проверки сделанных заключений: на данном этапе организация массового определения стереоостроты зрения с высокой точностью нецелесообразна, тогда как скрининговую оценку стереоостроты необходимо ввести в систему регулярного мониторинга состояния зрительных функций.

Проведенные исследования заставили усомниться в адекватности существующего в настоящее время критерия *стереослепоты*. Считается, что человек является стереослепым, если порог его стереозрения превышает 1 угловую минуту. Нами было показано, что при надпороговых размерах стимулов и диспаратностей такие люди могут успешно воспринимать и случайно-точечные стереограммы, и стереофильмы. В специальных экспериментах нами проводилась оценка воспринимаемой глубины при предъявлении кадров стереофильма испытуемым с естественной и искусственно созданной стереослепотой. Для «превращения» испытуемых с нормальным стереозрением в стереослепых использовали добавление очковых линз, расфокусирующих сетчаточное изображение в одном глазу и ухудшающих стереозрение.

Результаты экспериментов (рис. 8) показывают, что возможность адекватно наблюдать стереоэффекты сохраняется в достаточно широком диапазоне повышенных стереопорогов, значительно превышающих принятый в настоящее время критический уровень в одну угловую минуту.

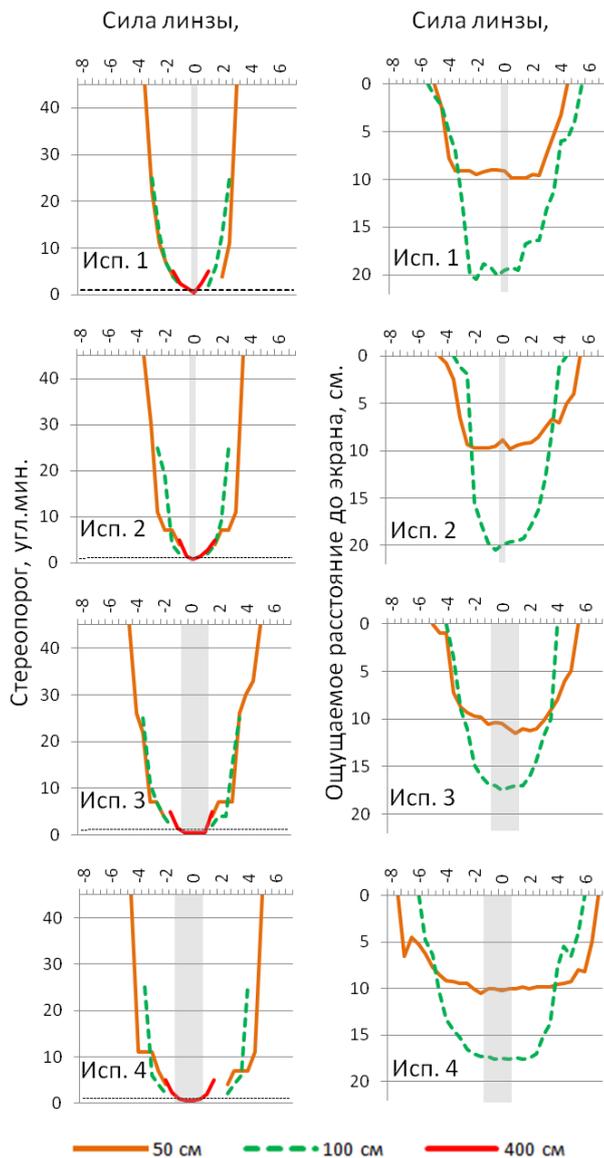


Рис. 8. Зависимость стереопорогов и воспринимаемого положения стереобъекта относительно экрана от силы расфокусирующей линзы. Данные четырёх испытуемых.

Очевидно, что критерий для постановки диагноза «стереослепота» должен быть пересмотрен. До тех пор, пока не будет разработана более точная диагностика и более чёткая классификация нарушений стереовосприятия, термин «стереослепота» следует употреблять с оговорками, указывая использованный критерий.

В главе 4 описана программа для оценки фузионных резервов «Фузия» и приведены результаты ее апробации. Программа обеспечивает возможность отдельного предъявления зрительных стимулов левому и правому глазу на основе двух методов сепарации: цветового и поляризационного. Задачей экспериментальной части работы с программой «Фузия» была оценка влияния метода сепарации на показатели фузионных резервов.

В процессе измерения фузионных резервов левое и правое изображения движутся по экрану в разные стороны, вызывая конвергентные или дивергентные движения глаз и приводя к рассогласованию аккомодации и конвергенции. С увеличением рассогласования бинокулярный образ начинает расплываться и двоиться, а затем фузия нарушается, и бинокулярный тест-объект перестаёт восприниматься. В момент нарушения фузии оценивается положение изображений стереопары, которое (в угловых величинах) и принимается за порог.

На одних и тех же испытуемых была проведена специальная серия сравнительных измерений по двум методам сепарации в максимально схожих условиях тестирования. Измерение фузионных резервов проводили для близи с расстояния 50 см от монитора у взрослых испытуемых (преимущественно студентов). Тестовыми стимулами служили случайно-точечные стереограммы. У 22 испытуемых были оценены и дивергентные, и конвергентные резервы. У пяти испытуемых не удалось получить полный комплект данных: у четырёх были измерены только дивергентные резервы, у одного – только конвергентные. Метод сепарации и измеряемые резервы (дивергентные или конвергентные) выбирались в случайном порядке. Не менее чем через час после первого курса измерений проводился ретест (повторное измерение параметров) со сменой порядка используемых методов сепарации. Данные по оценке средних значений представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Конвергентные фузионные резервы, средние значения, градусы (N=23)

	Анаглиф	Поляроид	
Тест	21±1.8	31±2.0	p=0.000
Ретест	25±1.8	32±1.3	p=0.000
	p=0.008	p=0.579	

Таблица 2. Дивергентные фузионные резервы, средние значения, градусы (N=26)

	Анаглиф	Поляроид	
Тест	6±0.8	9±0.7	p=0.016
Ретест	7±0.8	9±0.7	p=0.000
	p=0.510	p=0.564	

Выраженное различие было установлено для абсолютной величины получаемых значений: как для дивергентных, так и для конвергентных резервов показатели, полученные при использовании поляризационного метода сепарации, были значительно лучше показателей, полученных при использовании анаглифного метода. Учитывая, что все параметры стимуляции были идентичны, можно предположить, что использование поляризационного метода комфортнее для поддержания устойчивой фузии. Возможно, что возникающая при использовании анаглифного метода сепарации бинокулярная конкуренция по цвету негативно влияет на устойчивость фузирования. Учитывая полученные данные, нежелательно использовать цветовой анаглифный метод сепарации для оценки фузионных резервов, так как возникающая бинокулярная конкуренция по цвету – нестабильный процесс и непредсказуемо сказывается на фузировании и получаемых показателях.

Анализ ретест-тест разностей конвергентных фузионных резервов показал небольшое преимущество поляризационной технологии. Однако оценка повторяемости результатов измерения дивергентных фузионных резервов не выявила значимых преимуществ какого-либо из методов сепарации, оба метода показали себя одинаково надежными. Возможно, различие не выявилось потому, что абсолютные

значения дивергентных фузионных резервов, как правило, значительно меньше, чем конвергентных.

Глава 5 посвящена описанию программ, разработанных для коррекции нарушенных механизмов стереозрения и их апробации. В **разделе 5.1** описаны программный комплекс СКАБ и программа «Поиск». Отдельно описан принцип виртуальной окклюзии, реализуемой при помощи сепарации изображений для левого и правого глаз.

Современные 3D-технологии позволяют отдельно предъявлять изображения левому и правому глазу, строго регулируя предъявляемый контент. Посредством такого контролируемого предъявления можно не только имитировать классическую окклюзию, но и делать схемы окклюзии более гибкими и разнообразными: можно не полностью исключать изображения для ведущего глаза, а делать его менее контрастным или предъявлять часть изображений одному глазу, а часть – другому.

В рамках данного исследования в соавторстве с коллективом из РНИМУ им. Н.И. Пирогова были разработаны и апробированы четыре модуля системы неинвазивной коррекции аккомодационных и бинокулярных нарушений (СКАБ), предназначенных для лечения амблиопии и развития механизмов бинокулярного сотрудничества: модуль многопараметрической стимуляции глаза, модуль развития остроты зрения, модуль формирования центральной фиксации взора, модуль развития совмещения изображений. Данный комплекс рассчитан на использование цветового метода сепарации изображений.

Другой разработанной и апробированной в рамках данного исследования программой была интерактивная программа «Поиск», основанная на использовании поляризационного метода сепарации. Программа позволяет регулировать степень прохождения сигнала через каждый очковый фильтр, имитируя варианты окклюзии, используемые в традиционных методах лечения амблиопии. При этом окклюзия является виртуальной, намного более комфортной, чем традиционная заклеяка глаза, доставляющая физическое и психологическое неудобство.

В **разделе 5.2** описаны результаты апробации программного комплекса СКАБ разработанного в рамках выполнения проекта ФЦП RFMEFI60414X0076.

Всего под наблюдением находилось 56 детей в возрасте от 7 до 15 (в среднем $10,5 \pm 1,2$) лет. Пациенты были разделены на четыре группы, занимающиеся со следующими модулями комплекса СКАБ: 1) многопараметрическая стимуляция глаза; 2) развитие остроты зрения; 3) формирование центральной фиксации взора; 4) развитие совмещения изображений. Курс лечения составлял 10 занятий по 10 минут.

Основной идеей комплекса СКАБ было иерархическое усложнение тренировок для постепенного восстановления зрительных функций пациента: модуль 1 направлен на повышение остроты зрения для пациентов с существенно сниженными показателями (тестовые стимулы крупные и легко различимые), модуль 2 имеет усложненную игровую задачу и тестовые стимулы меньшего размера, модуль 3 использует виртуальную окклюзию для формирования бификсации (попеременно стимулы предъявляются то одному, то другому глазу), модуль 4, также использующий виртуальную окклюзию, предъявляет часть изображения одному, часть – другому

глазу, и для выполнения игровой задачи тренирующийся должен корректно сфюзировать эти элементы.

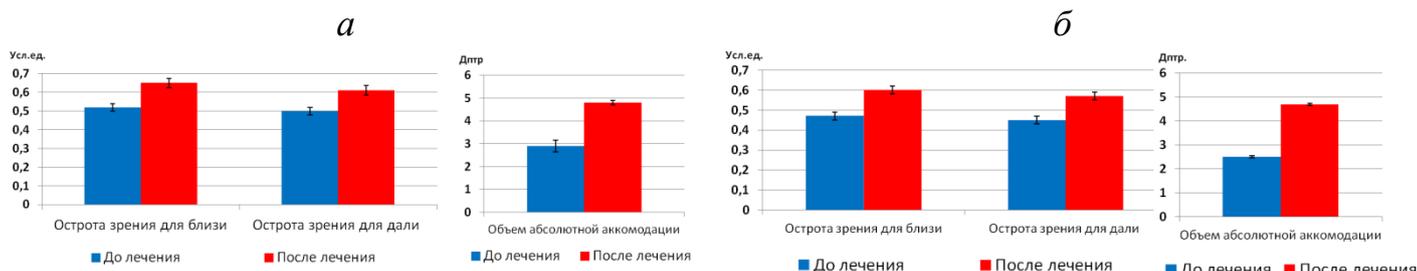


Рис. 9. Результаты апробации первого (а) и второго (б) модулей программного комплекса SKAB: средние значения остроты зрения и объема абсолютной аккомодации.

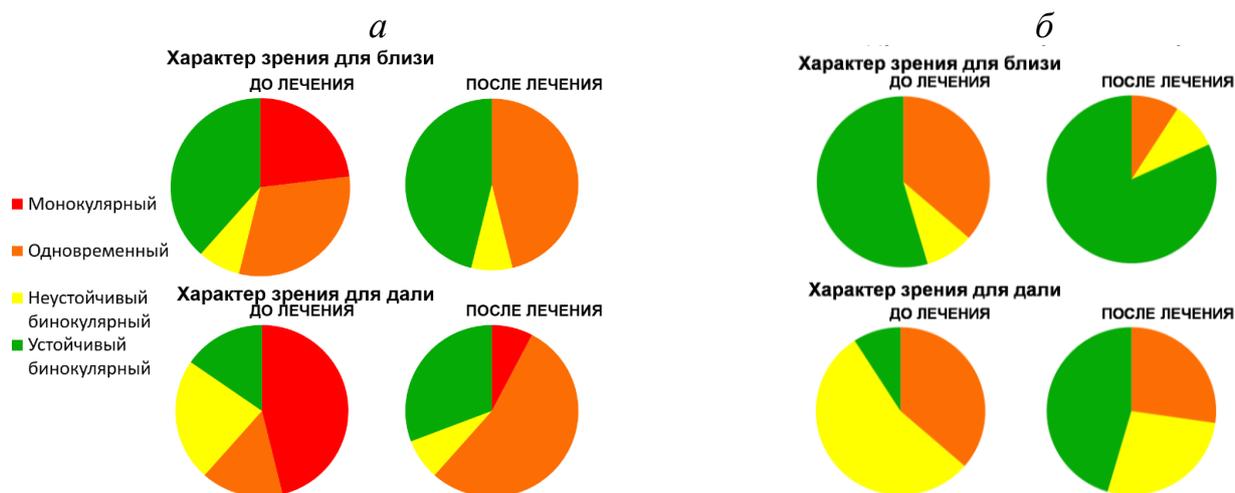


Рис. 10. Результаты апробации третьего (а) и четвертого (б) модулей программного комплекса SKAB: показатели бинокулярного сотрудничества до и после лечения в группах пациентов, проходивших лечение на модулях 3 и 4. Относительные доли групп детей с разными показателями бинокулярного сотрудничества (характера зрения).

Испытания первого и второго модулей комплекса SKAB показали их эффективность в отношении повышения остроты зрения и аккомодационной способности у всех пациентов с амблиопией.

Результаты использования третьего и четвертого модулей комплекса SKAB в функциональном лечении пациентов с нарушениями бинокулярного зрения свидетельствуют об эффективности использования данных блоков для улучшения бинокулярных функций.

Раздел 5.3 содержит результаты двух этапов апробации разработанной программы «Поиск».

Первый этап апробации программы включал сравнение эффективности программы «Поиск», основанной на виртуальной окклюзии (ВО), с аналогичными используемыми в кабинете охраны зрения программами, рассчитанными только на реальную окклюзию (РО) – традиционные заклепки глаза. Для статистических оценок были взяты данные, полученные на 60 пациентах в возрасте от 6 до 15 лет (средний возраст и стандартное отклонение: 9.8 ± 3.1), пролеченных по разным схемам.

Были выделены следующие группы:

- (1) 20 детей (40 глаз), которые прошли только один курс тренировок с РО;
- (2) 28 детей (56 глаз), которые прошли первый курс тренировок с РО, а затем – второй курс тренировок с ВО;
- (3) 12 детей (24 глаза), которые тренировались только с ВО.

Полученные данные представлены в таблице 3. Среднее повышение остроты зрения за один курс лечения с использованием реальной окклюзии у всех детей из групп (1) и (2) составило 0.11 ± 0.06 , что характерно для РО при данной длительности сеансов и курса лечения. При использовании виртуальной окклюзии средние результаты за один курс лечения были заметно выше: 0.17 ± 0.09 в группе (3) и 0.16 ± 0.09 в группе (2), где такой курс лечения проводился через некоторое время после курса с РО, давшего среднее улучшение 0.10 ± 0.07 . (Различия между результатами лечения с использованием РО и ВО достоверны: $p < 0.005$).

Полученные данные, а также данные опроса пациентов относительно комфортности и утомительности тренировок свидетельствуют о преимуществах виртуальной окклюзии, используемой в разработанной программе «Поиск».

Таблица 3. Результаты первого этапа апробации

	Острота зрения до лечения	Острота зрения после курса тренировок с применением классической окклюзии	Острота зрения после курса тренировок с применением виртуальной окклюзии
Группа I (N=20)	0.74	0.12 ± 0.05	-
Группа II (N=28)	0.68	0.10 ± 0.07	0.16 ± 0.09
Группа III (N=12)	0.74	-	0.17 ± 0.09

Суммарный прирост остроты зрения у группы II: 0.26 ± 0.08

На **втором этапе** апробации проводилось прямое сравнение эффективности виртуальной и классической окклюзии. В качестве тренировочной программы использовалась программа «Поиск», стимуляция была одинакова за исключением используемого метода окклюзии.

Испытуемые: 59 амблиопов (29 из них – с дисбинокулярной амблиопией, 30 – с рефракционной). Испытуемые были разделены на две группы. Для исключения влияния на результаты порядка тестирования в группах был разный порядок используемой окклюзии: в первой группе тренировки начинались с курса классической окклюзии (10 тренировок по 5 мин), за ним следовал курс виртуальной окклюзии (10 тренировок по 5 мин); во второй группе порядок используемых методов был обратным. Полученные результаты представлены на рис. 11 и 12. Для удобства сравнения с данными зарубежных работ, полученные значения остроты зрения выражены в LogMAR.

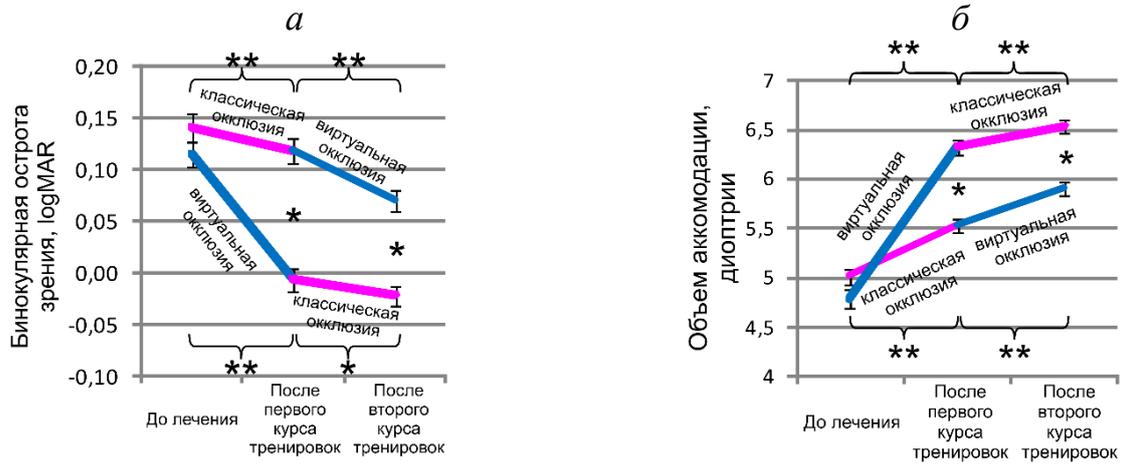


Рис. 11. Динамика бинокулярной остроты зрения (а) и аккомодации (б) в ходе второго этапа апробации. Звездочки на графиках указывают статистическую значимость (t-тест, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.001$), планки погрешностей указывают стандартную ошибку среднего.

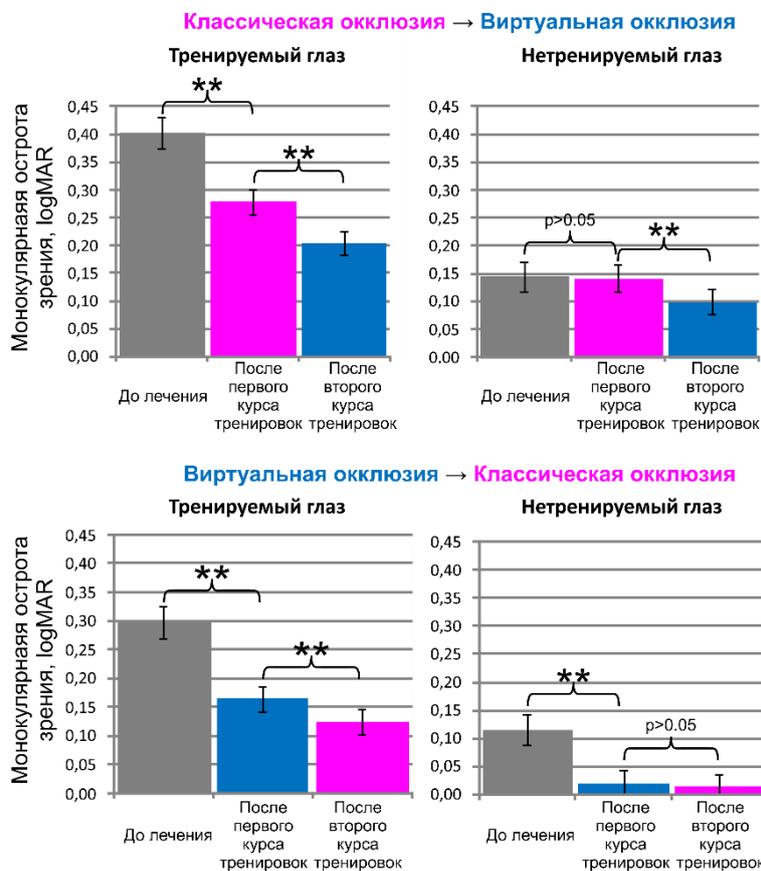


Рис. 12. Динамика монокулярной остроты зрения для тренируемого и нетренируемого глаза по результатам двух последовательных курсов тренировок.

Полученные нами данные не выявили различий между группами с дисбинокулярной и рефракционной амблиопией.

По показателям аккомодации после первого курса мы получили лучшие результаты для виртуальной окклюзии, чем для классической окклюзии ($p < 0.05$). После второго курса мы также получили лучшие результаты для виртуальной окклюзии (прирост на 0.37 ± 0.06 дптр), чем для классической окклюзии (прирост на

0.22±0.06 дптр), однако различие было небольшим и не достигало уровня статистической значимости ($p=0.085$).

Нами было также показана лучшая динамика характера зрения после первого курса виртуальной окклюзии по сравнению с первым курсом классической окклюзии, однако эти данные получены только для небольшой группы с дисбинокулярной амблиопией (у всех пациентов с рефракционной амблиопией изначально был бинокулярный характер зрения) и требуют дополнительных исследований на выборках большего размера.

Полученные результаты показывают следующие преимущества виртуальной окклюзии по сравнению с классической реальной окклюзией:

- улучшение **монокулярной остроты зрения** на обоих глазах (а не только на тренируемом);
- более выраженное улучшение **бинокулярной остроты зрения**;
- более выраженное улучшение **аккомодации и характера зрения**.

Выводы

1. Применение современных 3D-технологий позволяет существенно повысить точность измерения показателей стереозрения, сделать скрининговые процедуры более комфортными и увеличить эффективность коррекционных тренировок для восстановления и развития бинокулярного зрения.
2. На современном технологическом уровне точная компьютерная оценка стереоостроты зрения может быть реализована только с использованием субпиксельных диспаратностей.
3. При выборе тестовых стимулов следует избегать использования однородных периодических текстур, так как измерения осложняются из-за возможности неоднозначного фузирования. Показано, что элементы Габора являются более подходящими тестовыми стимулами, чем протяженные синусоидальные решетки.
4. Поляризационная технология сепарации позволяет при прочих равных условиях получить лучшие значения стереопорогов и фузионных резервов чем цветовая анаглифная технология.
5. Для целей скринингового исследования стереозрения наиболее перспективными представляются безочковые растровые 3D-технологии, которые уже на данном этапе развития позволяют существенно повысить качество скрининговой диагностики стереоскопического восприятия.
6. Принятый в настоящее время критерий стереослепоты (порог стереоскопического восприятия более 1 угл. мин) требует пересмотра, поскольку обнаружено, что способность адекватного восприятия 3D-контента может сохраняться при превышении указанного порога в несколько раз.
7. Применение современных 3D-технологий для функционального лечения амблиопии позволяет заменить реальную традиционную окклюзию и пенализацию виртуальной окклюзией, пространственно-временные параметры которой легко варьировать.
8. При прочих равных условиях виртуальная окклюзия позволяет добиться лучших результатов тренировочных процедур, чем традиционная окклюзия.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК

1. Грачёва М.А., Рожкова Г.И. Стереострота зрения: основные понятия, методы измерения, возрастная динамика // Сенсорные системы. 2012. Т. 26. № 4. С. 259-279.
2. Грачева М.А. Опыт использования субпиксельных параллаксов при оценке стереостроты зрения // Мир техники кино. 2013. Т. 2. № 26 С. 17-22.
3. Рычкова С.И., Большаков А.С., Грачева М.А., Рожкова Г.И. Очковый хромостереопсис у людей с различными показателями естественного хромостереопсиса // Сенсорные системы. 2014. Т. 28. №. 1. С. 72-80.
4. Рожкова Г.И., Грачева М.А. Естественный хромостереопсис: причины и индивидуальные вариации бинокулярных пространственных цветовых эффектов // Сенсорные системы. Т. 28. № 1. 2014. С. 3–14.
5. Грачева М.А., Рожкова Г.И. Восприятие стереоизображений зрителями с так называемой "стереослепотой" // Мир техники кино. 2014. Т. 4. № 34. С. 24-30.
6. Рожкова Г.И., Лозинский И.Т., Грачева М.А., Большаков А.С., Воробьев А.В., Сенько И.В., Белокопытов А.В. Функциональная коррекция нарушенного бинокулярного зрения: преимущества использования новых компьютерных технологий // Сенсорные системы. 2015. Т. 29. № 2. С. 99–121.
7. Рожкова Г.И., Рычкова С.И., Грачева М.А., Тахчиди Х.П. Индивидуальная оптимизация функциональной коррекции нарушенного бинокулярного зрения // Сенсорные системы. 2015. Т. 29. №. 4. С. 341–353.
8. Рожков С.Н., Рожкова Г.И., Грачева М.А. Стереоскопическое зрение: основные термины // Мир техники кино. 2016. Т. 2. № 10. С. 26-32.

Статьи в сборниках

1. Грачева М.А. Об использовании субпиксельных диспаратностей при оценке остроты стереозрения // V Международная научно-технической конференция "Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях". Москва. 18-19 апреля. 2013. Материалы и доклады. – М.: МКБК, 2013. С. 42-54.
2. Васильева Н.Н., Большаков А.С., Грачева М.А., Рожкова Г.И. Сравнение результатов оценки фузионных резервов с использованием анаглифного и поляризационного методов сепарации изображений // «Федоровские чтения – 2013» XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. Москва. 21-22 июня. 2013. М.: Изд-во «Офтальмология», 2013. С. 61.
3. Грачева М.А. Компьютерная оценка остроты стереозрения с использованием цветового и поляризационного методов сепарации // 37 конференция-школа молодых ученых и специалистов "Информационные технологии и системы - 2013". Калининград. 1-6 сентября. 2013. С. 157-161.
4. Рожкова Г.И., Большаков А.С., Грачева М.А. Применение современных 3D-технологий для оценки показателей бинокулярного зрения и лечения его нарушений // VI Российский общенациональный офтальмологический форум. Москва, 1-3 октября. 2013. М.: Изд-во «Апрель», 2013. Т.1. С. 296-300.
5. Грачева М.А., Рожкова Г.И. Восприятие пространственных отношений и объёмности в стереофильмах зрителями с различной остротой стереозрения // VI Международная научно-технической конференция "Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях". Москва. 17–18 апреля. 2014.: Материалы и доклады. – М.: ВГИК, 2014. С. 65-75.
6. Грачева М.А., Васильева Н.Н., Большаков А.С., Рожкова Г.И. Влияние метода сепарации изображений на измерение показателей бинокулярного зрения при помощи

компьютерных тестовых программ // «Невские горизонты-2014». Материалы научной конференции офтальмологов. СПбГПМУ. – СПб.: Политехника-сервис, 2014. С. 310–314.

7. Рычкова С.И., Большаков А.С., Грачева М.А., Рожкова Г.И. Очковый хромостереопсис при использовании призматической коррекции у детей // «Невские горизонты-2014». Материалы научной конференции офтальмологов. СПбГПМУ. – СПб.: Политехника-сервис, 2014. С. 334–337.

8. Рожкова Г.И., Грачева М.А., Рычкова С.И. Оптимизация процедур функциональной коррекции бинокулярного зрения // VIII Российский Общенациональный Офтальмологический Форум, сборник научных трудов научно-практической конференции с международным участием. Москва, 22-24 сентября 2015. С. 425-429.

9. Рожкова Г.И., Рычкова С.И., Наумова О.И., Грачева М.А., Быкова Т.А. Эффективность лечения амблиопии с применением виртуальной окклюзии на базе 3D технологии // «Невские горизонты-2016». Материалы научной конференции офтальмологов. СПбГПМУ. – СПб.: Политехника-сервис, 2016. С. 222–223.

10. Рычкова С.И., Грачева М.А., Рожкова Г.И., Тахчиди Х.П. Результаты использования компьютерного программного комплекса СКАБ для плеопто-ортоптического лечения у детей // Современные технологии в офтальмологии. 2016. Т. 3. № 11. С. 231–235.

Тезисы конференций и презентации на выставках

1. Грачева М.А. Безочковый растровый набор тестов для быстрой проверки бинокулярного зрения // Выставка разработок молодых ученых, Каталог. U-NOVUS. Томск. 2-4 апреля 2014 г. / Томск.: Д-Принт, 2014., С. 32.

2. Gracheva M.A. Computer-aided methods for clinical stereo acuity measurement: some practical aspects of left-right image separation techniques // 36th European Conference on Visual Perception 2013. Bremen, Germany. 25-29 August. Perception. 2013. V. 42, Suppl. P. 69.

3. Bolshakov A., Vasiljeva N., Gracheva M., Rozhkova G. Assessment of fusional reserves with interactive software: Dependence of results on left-right image separation method // 36th European Conference on Visual Perception 2013. Bremen, Germany. 25-29 August. Perception. 2013. V. 42, Suppl. P. 224.

4. Bolshakov A.S., Gracheva M.A., Rozhkova G.I. The benefits of applying modern 3D technologies in computer-aided diagnostics and functional treatment of amblyopia and binocular disorders // 37th European Conference on Visual Perception 2014. Belgrad, Serbia. 24-28 August. Perception. 2014. V. 43, Suppl. P. 165.

5. Gracheva M., Rychkova S., Rozhkova G. New varieties of the tests for binocular vision assessment // 41-st Meeting of the European Paediatric Ophthalmological Society, Programm and book of abstracts. St. Petersburg, 2015. P. 84.

6. Rozhkova G., Rychkova S., Gracheva M. Optimal parameters of the treatment procedures for rehabilitation and development of binocular functions in different cases // 38th European Conference on Visual Perception 2015. Liverpool, UK. 24-27 August. Perception. 2015. V. 44, Suppl. P. 301.

7. Gracheva M., Rychkova S., Rozhkova G. Individual variability in visual acuity improvement due to binocular fusion and accommodation training // 38th European Conference on Visual Perception 2015. Liverpool, UK. 24-27 August. Perception. 2015. V. 44, Suppl. P. 296.

8. Rychkova S., Gracheva M., Senko I. Computer-aided techniques in analysis and treatment of strabismic suppression: practical issues // 1st International Symposium on Visual Physiology, Environment, and Perception. Riga, Latvia. 6-8 October, 2016. Book of abstracts. P. 47-48.

9. Gracheva M., Rychkova S., Senko I., Tahchidi H.P. Interactive computer trainings for improvement of binocular functions // 1st International Symposium on Visual Physiology, Environment, and Perception. Riga, Latvia. 6-8 October, 2016. Book of abstracts. P. 46-47.

10. Bolshakov A., Gracheva M., Rychkova S., Rozhkova G. Amblyopia treatment: Advantages of virtual occlusion based on a contemporary 3D technique // 39th European Conference on Visual Perception 2016. Barcelona, Spain. 28th of August - 1st of September. Perception. 2016. V. 45, Suppl. P. 301-302.

11. Rychkova S., Gracheva M., Sandimirov R., Bolshakov A. Direct comparison of eye patch and virtual occlusion during computer-aided treatment of amblyopia in children // 40th European Conference on Visual Perception 2017. Berlin, Germany. 27-31 August. Perception. 2017. V. 46, Suppl. (В печати).

Другие публикации

1. Рожкова Г.И., Грачева М.А., Большаков А.С., Белокопытов А.В., Крутцова Е.Н. Современные стереотехнологии и их применение в функциональной коррекции бинокулярного зрения: методическое пособие / М.: ИППИ РАН, 2016. 38 с. ISBN 978-5-901158-29-6

2. Грачева М.А., Большаков А.С. Современные шлемы виртуальной реальности: причины появления дискомфорта и способы их исправления // Киномеханик сегодня, 2016. № 6. С. 30-35.

3. Большаков А.С., Грачева М.А. Истоки современного этапа развития технологии виртуальной реальности // Киномеханик сегодня, 2016, 5, с. 34–39.