

61
Д-246

На правах рукописи

ДВОРЯНЧИКОВА Александра Павловна

**СЕНСОМОТОРНАЯ РЕАКЦИЯ В РАСПОЗНАВАНИИ
ЦВЕТОВОГО И ЯРКОСТНОГО КОНТРАСТА**

Специальность 19.00.02 – Психофизиология (психологические науки)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата психологических наук**

Москва – 2003

Работа выполнена на кафедре психофизиологии
МГУ им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Соколов Евгений Николаевич

Научный консультант: доктор медицинских наук, профессор
Шамшинова Анжелика Михайловна

Официальные оппоненты: доктор психологических наук, профессор
Чуприкова Наталья Ивановна

04-20.255

доктор биологических наук, профессор
Латапов Александр Васильевич

Ведущая организация: Институт психологии РАН

Защита состоится «__» _____ 2003 г. в ____ часов на заседании
диссертационного совета Д 501.001.15 МГУ им. М.В. Ломоносова по адресу:
103009, Москва, ул. Моховая, дом 11, корпус 5, аудитория _____.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке
им. М. Горького.

Автореферат раз: «__» _____ 2003 г.

Ученый секрет
диссертации

га



Балашова Е. Ю.

Актуальность проблемы. Точность и скорость зрительного опознания являются жизненно важными свойствами зрительной системы человека. Согласно современным представлениям нейрофизиологии, информация о базисных признаках изображения, таких как цвет и яркость, обрабатывается в параллельных каналах зрительной системы (Hubel, Wiesel, 1960; Глезер и др., 1975; Kolb and Nelson, 1984; Бызов, 1992; Шевелев, 1992; Kolb, 1995; Kolb et al., 1995). В то же время, в психофизиологических исследованиях накоплен многолетний материал по моделированию яркостной и цветовой чувствительности человека (Соколов, 1981; Соколов, Измаилов, 1984; Соколов и др., 1989; Евтихин и др., 1995, 1997; Латанов и др., 1997, 1991а, 1991б; Полянский и др. 1995). В настоящее время представляется актуальным и технически возможным усовершенствовать методы психофизического зрительного тестирования, с тем, чтобы параметры зрительных стимулов соответствовали свойствам отдельных каналов, известных из нейрофизиологии. Такой подход позволяет объединить в одном эксперименте существующие данные о структуре зрительных каналов и известные психофизические данные по интегративной цветовой и яркостной контрастной чувствительности. Ранее, в совместных исследованиях Психологического факультета МГУ им. Ломоносова и МНИИ Глазных болезней им. Гельмгольца была продемонстрирована возможность локального картирования цветовой чувствительности полей зрения человека точечными стимулами, формируемыми на цветном ЭЛТ видеомониторе (Шамшинова и др., 1992, 1994; 1995). Настоящая диссертационная работа является развитием такого подхода и посвящена тестированию цветowych и яркостных каналов зрительной системы человека с помощью точечных стимулов, адекватных спектральной чувствительности колбочек и размерам рецептивных полей. В качестве объективного критерия, характеризующего полный объем зрительной работы при трудноразличимых стимулах было взято время сенсоромоторной реакции обнаружения стимула (Чуприкова, 1974, 1995; Ендриховский, 1993). Выполненное исследование было направлено на уточнение принципов зрительного восприятия и повышение роли психофизических методов в дифференцированной начальной диагностике заболеваний сетчатки и зрительного нерва.

Цель и задачи исследования. Целью исследования было изучение функциональной топографии световых, темновых и цветowych каналов зрительной системы человека и оценка их вклада в скорость зрительного восприятия. В соответствии с этим, были поставлены следующие задачи:

1. Разработать компьютерный метод тестирования топографии и чувствительности цветowych и яркостных каналов центрального поля зрения человека с использованием стимулов от цветного ЭЛТ-монитора персонального компьютера.

2. Исследовать топографию яркостных каналов и оценить скорость их восприятия на различных расстояниях от центра поля зрения.
3. Исследовать скорость восприятия цветовых каналов и их локализацию в центральном поле зрения при использовании цветовых стимулов, адекватных спектральной чувствительности колбочек и цветовой организации их рецептивных полей.
4. Подобрать оптимальные параметры стимулов для оценки работы отдельных каналов в норме и при некоторых видах заболеваний сетчатки и зрительного нерва при использовании метода цветовой кампиметрии.
5. Определить возможности использования нового метода цветовой кампиметрии каналов зрительной системы в ранней дифференциальной диагностике заболеваний сетчатки и зрительного нерва.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Временные характеристики и пространственное распределение яркостных и цветовых каналов могут быть разделены в условиях психофизического эксперимента по времени обнаружения точечных стимулов, параметры которых соответствуют нейрофизиологическим представлениям о свойствах отдельных каналов зрительной системы и функциональной организации их рецептивных полей.
2. Увеличение пороговых величин стимулов от центра поля зрения к периферии дает представление об относительных размерах и топографии рецептивных полей сетчатки человека.
3. Предложенная система точечных стимулов позволяет строить индивидуальные функциональные топографические карты сетчатки и выявлять тонкие нарушения цветовых и яркостных каналов при заболеваниях сетчатки и зрительного нерва, которые могут быть использованы как новые симптомы их ранней диагностики.

Научная новизна. Разработан новый компьютерный метод тестирования яркостных и цветовых каналов зрительной системы человека. Впервые в психофизическом исследовании, показана возможность функционального разделения временных и пространственных характеристик ахроматических и цветовых каналов. Выявлены характерные отличия временных параметров работы ахроматических и цветовых каналов в норме. Показано, что максимальная скорость различения достигается при совместной работе яркостных и цветовых каналов, когда детали изображения отличаются как по яркости, так и по цвету. Выявлены специфические нарушения в работе яркостных и цветовых каналов характерные для начальных стадий заболеваний сетчатки и зрительного нерва, что может быть использовано в качестве высокочувствительных симптомов при ранней диагностике.

Практическая значимость. Разработан «Способ диагностики приобретенных нарушений цветоощущения» (Патент РФ № 2192158 от 10 ноября 2002). Способ рекомендован в клиническую практику

офтальмологических учреждений для начальной диагностики глазных заболеваний и оценки распространенности патологического процесса. Найденные функциональные симптомокомплексы позволяют осуществлять начальную и дифференциальную диагностику до развития клинических проявлений заболевания. Метод может применяться также при профессиональном отборе операторов для условий, требующих повышенного цветовосприятия.

Апробация работы. Результаты работы были представлены и обсуждены на Дев'ятим з'їзде офтальмологів України (Киев, Украина, 1996); Международной конференции студентов и аспирантов, секция психологич, МГУ им. Ломоносова М.В. (Москва, Россия, 1996-1998); Научно-практической конференции «Современные аспекты нейроофтальмологии», НИИ Нейрохирургии им. акад. Бурденко (Москва, Россия 1997-2000); Научно-практической конференции «Актуальные вопросы детской офтальмологии», МГНИИ им. Гельмгольца Г. (Москва, Россия, 1997); IX Международном симпозиуме «Перспективные дисплейные технологии» Российское отделение SID (Москва, Россия, 2000); SOE-97 (Budapest, Hungary, 1997); Finnish-Russian Winter School «Growth and Development: from Molecules to the Organisms» (Hyuttiala, Finland, 1998); International Summer School «Modulation of Neuronal Signaling: Implications for Visual Perception», NATO Advanced Study Institute (Nida, Lithuania, 2000); The XXXV Nordic Congress of Ophthalmology, (Tampere, Finland, 2002); Научно-практической конференции «Клиническая физиология зрения», МГНИИ им. Гельмгольца Г. (Москва, Россия, 2002), на семинарах Department of Ophthalmology, Tampere University Hospital, а также на заседаниях кафедры психофизиологии факультета психологии МГУ им. Ломоносова М.В.

Внедрение в практику. Разработанные методы исследования и результаты диссертационной работы внедрены в лаборатории клинической физиологии зрения МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца МЗ РФ и лаборатории физико-химических основ зрительной рецепции ИБХФ РАН.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, изложения методов исследования, результатов собственных исследований, обсуждения, выводов, списка литературы, который содержит 182 источника, и приложений. Объем диссертации ___ страницы машинописного текста, включая 18 рисунков и 27 таблиц.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Картирование поля зрения производили ахроматическими и цветными точечными стимулами разной яркости. Регистрируемой величиной было время сенсомоторной реакции (ВСМР) при обнаружении стимула. Размеры стимулов, зоны предъявления, яркость, цвета стимулов и окружающего фона формировали на цветном ЭЛТ-видеомониторе sVGA с помощью компьютерной программы «Оффон» (МБН, г. Москва). Пространственные угловые размеры

точечных стимулов составляли $0,11^\circ$, $0,22^\circ$, $0,33^\circ$ и $0,55^\circ$. Зонами предъявления стимулов были: центр с угловым размером в 1° и кольцевые зоны с угловыми размерами 5° и 10° . Время предъявления стимула было 1500 мс; интервал между предъявлениями изменялся в случайном порядке от 500 до 1500 мс. Стимулы и фон были отфотометрированы по яркости и по спектральному распределению энергии излучения. Уравнивание яркости цветных стимулов с яркостью цветных фонов производилось по психофизическому критерию – регулировка яркости стимула до получения максимального ВСМР (Ендриховский, 1993). Спектральная селективность цветных стимулов была определена путем сопоставления спектральных полос излучения люминофоров ЭЛТ видеомонитора (λ макс. синего люминофора – 440 нм, зеленого – 550 нм, красного 630 нм) и сопоставления их с известными спектрами поглощения 3-х видов колбочек (λ макс. S-колбочек – 430 нм, M-колбочек – 530 нм, L-колбочек – 560 нм). Согласно расчетам, спектральная полоса красного люминофора обеспечивает соотношение возбуждения L/M/S колбочек, как 60%, 33% и 7%, зеленый – 47%, 49% и 4%, и синий – 11%, 19% и 70%. Соответственно, красный и синий стимулы имели высокую избирательность к спектральной чувствительности соответствующих колбочек. Об активности средневолновых колбочек судили по разнице восприятия на красные и зеленые стимулы. Для анализа яркостных каналов использовались ахроматические стимулы 3-х градаций яркости с положительным и отрицательным контрастом по отношению к серому фону промежуточной яркости. Для исследования цветовых каналов использовали стимуляцию, где цвет фона и стимулов был задан в соответствии с нейрофизиологическими данными о цветоопонентности центра и периферии рецептивных полей цветовых каналов. Были использованы следующие сочетания: 1) красные стимулы на зеленом фоне, 2) зеленые стимулы на красном фоне, 2) синие стимулы на желтом фоне. Желтый фон формировали равной смесью свечения красного и зеленого люминофоров. Насыщенные по цвету стимулы создавались одним из люминофоров, а для малонасыщенных использовалась добавка равной смеси 3-х видов люминофоров. Были применены цветовые стимулы, как равные с фоном по яркости, так и отличающиеся от фона в ту и другую сторону на 3 градации яркости. Для анализа яркостной составляющей цветовых каналов был применен оригинальный подход с тестированием нормальных трихроматов цветовыми «дихроматическими» стимулами, неразличимыми цветоаномалами-дихроматами. Для этого использовали неразличимые дихроматами оттенки, которые были расположены в цветовом треугольнике в виде т.н. линий ошибок и показывали цвета, к которым невосприимчивы цветоприемники дихроматов, но чувствителен отсутствующий третий приемник, который присутствует у трихромата. Так, стимулы протанопической линии ошибок соответствовали чувствительности красных колбочек, дейтеронопической линии – зеленых колбочек, и тританопической линии – синих колбочек. В качестве фона использовали цветовой тон, расположенный посередине линии ошибок, а тона стимулов были расположены по обе стороны от цвета фона. При диагностике цветовых нарушений при глазных заболеваниях использовали дополнительный

цветоразличительный тест в пределах спектральной чувствительности центральных М- и L-колбочек, с применением бежевого фона (равная смесь красного и зеленого люминофоров) и цветовых стимулов с разными смесями красного и зеленого люминофоров.

В тестировании участвовало 18 человек с нормальным зрением (36 глаз) и группа пациентов из 32 человек (57 глаз) с начальными нарушениями зрительных функций (глаукома – 10 человек, макулодистрофия Штаргардта – 7 человек, дейтераномалия – 13 человек, протоаномалия – 2 человека).

Статистическую обработку данных проводили с помощью двухвыборочного t-теста Стюдента с разными дисперсиями при двух хвостах распределения и однофакторного дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Исследование топография цветовой и яркостной контрастной чувствительности в норме.

На рисунке 1 приведены наиболее характерные результаты, полученные с использованием трех видов стимулов – ахроматических, цветоопponentных и «дихроматических». ВСМР по обнаружению *ахроматических* стимулов имеет резко выраженную яркостную зависимость (Рис. 1а). Так, для слабоконтрастных стимулов с градациями яркости 1 и –1 ВСМР составляет около 550 мс, а для стимулов с градациями яркости 3 и –3 ВСМР сокращается до 350 мс. При использовании *цветоопponentных* стимулов (Рис. 1б, кривая 1) ВСМР резко сокращалась до 250-350 мс и мало зависело от яркости стимула. При этом оказывается возможным обнаружение цветных стимулов не отличающихся от фона по яркости. Зависимость ВСМР от цветных «*дихроматических*» стимулов (Рис. 1в) имела выраженный яркостный характер, сходный с результатами тестирования ахроматическими стимулами (Рис. 1а) и резко отличалась от полученных с цветоопponentными стимулами (Рис. 1б). Использованные нами 3 вида стимулов были идентичны по размерам стимулов и зонам предъявления, находились в одном и том же яркостном диапазоне, но, вместе с тем, как следует из рисунков, совершенно по разному воспринимаются зрительной системой. Исходя из этих различий и известных нейрофизиологических данных об устройстве зрительных каналов, можно с большой долей уверенности считать, что предложенная нами система тестов позволяет в психофизическом эксперименте отдельно тестировать яркостные и цветовые каналы зрительной системы человека. Рисунки 1а и 1в свидетельствуют о том, что с помощью мало контрастных стимулов (градации яркости 1 и -1) оказывается возможным оценивать индивидуальную локальную пороговую контрастную чувствительность, что выражается в увеличении квадратичных отклонений. Данные на рисунке 1б соответствуют современным представлениям о том, что наиболее быстрое обнаружение стимула оказывается возможным при одновременной работе обоих детекторных механизмов – яркостного и цветового (Izmailov and Sokolov, 1991).

В более полном виде результаты таких измерений суммированы в таблице 1, где также показаны характерные различия в восприятии стимулов разного

размера. При восприятии *ахроматических* точечных стимулов наблюдались две основные закономерности (Таблица 1). Во-первых, по мере удаления от центра, время обнаружения градуально увеличивалось: примерно в 1,2-1,4 раза при переходе от 1° поля зрения к 5° , и переходе от 5° к 10° . Это было показано для стимулов с угловым размером в $0,22^\circ$, для стимулов в $0,33^\circ$, и для стимулов в $0,55^\circ$. При совсем маленьких стимулах с размером $0,11^\circ$ время обнаружения в центральной зоне было велико: около 1300 мс, а в более периферических зонах такой маленький стимул не обнаруживался вообще. Невозможность обнаружения стимула размером $0,11^\circ$ в зонах 5° и 10° свидетельствует о том, что размеры рецептивных полей яркостных каналов в этих зонах должны быть заметно больше размера стимула. Для стимула $0,22^\circ$ в зоне 10° ВСМР было очень велико – около 1400 мс. По-видимому, это указывает на то, что размеры рецептивных полей в зоне 10° близки к размерам использованных стимулов.

Вторая закономерность заключалась в том, что в пределах каждой зоны, ВСМР на ахроматические стимулы было обратно пропорционально площади стимула. В частности, для центра увеличение площади стимула в 4 раза (от $0,11^\circ$ к $0,22^\circ$), в 8 раз (от $0,11^\circ$ к $0,33^\circ$), в 24 раза (от $0,11^\circ$ к $0,55^\circ$) приводило к сокращению времени обнаружения в 1,7 раза, в 2,3 раза и в 3 раза, соответственно.

Результаты исследований по обнаружению *цветных* стимулов также приведены в таблице 1. Измерения показали, что время обнаружения любого цветоопонентного стимула нормальными трихроматами, при прочих равных условиях, всегда существенно (в 1,5 – 2 раза) короче времени обнаружения ахроматического стимула. Так, если минимальное время обнаружения ахроматического стимула составляет 435 ± 70 мс, то для любого цветоопонентного стимула минимальное время обнаружения составит 250-260 мс.

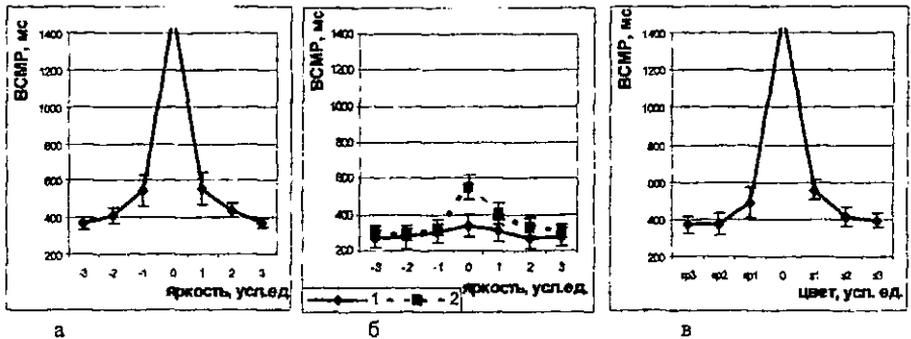


Рис. 1. ВСМР нормальных испытуемых при стимулах размером $0,22^\circ$ в зоне 1° а) ахроматические, б) зеленые на красном фоне, линия 1 – насыщенные, линия 2 – насыщенные, в) стимулы дейтеранопической линии. По оси У – ВСМР, мс, по оси Х, для а) и б) – яркость стимула в условных единицах, для в) – оттенки дейтеранопической линии в условных цветовых единицах.

Таблица 1. ВМСП (мс) в норме, при использовании пороговых (± 1 усл. ед.) ахроматических и цветовых стимулов.

Схема	Зона	Размер стимула			
		0,11°	0,22°	0,33°	0,55°
АХР.	1°	1300±100	740±80	550±90	435±70
	5°	бесконечно	980±70	750±100	500±80
	10°	бесконечно	1385±70	770±80	510±65
К/З	1°	365±60	305±20	270±30	250±15
	5°	1000±80	310±25	280±30	250±15
	10°	1300±100	370±40	330±40	270±20
к/з	1°	570±80	330±30	310±30	265±30
	5°	1450±100	410±45	330±30	280±30
	10°	бесконечно	490±50	330±30	280±30
З/К	1°	360±60	280±30	260±30	250±20
	5°	560±70	305±40	270±30	250±20
	10°	1400±100	370±40	310±30	270±20
з/к	1°	950±100	350±50	325±30	280±30
	5°	бесконечно	450±85	400±50	280±30
	10°	бесконечно	710±100	450±70	400±40
С/Ж	1°	360±60	310±30	300±30	260±30
	5°	890±200	355±20	315±30	260±30
	10°	1450±70	420±40	355±40	270±30
с/ж	1°	450±70	335±30	310±40	260±40
	5°	1100±130	380±20	350±50	280±40
	10°	1300±100	450±50	360±50	285±40
ПРОТ	1°	1200±100	640±80	450±90	335±70
	5°	бесконечно	880±70	610±100	400±80
	10°	бесконечно	1285±70	730±80	490±65
ДЕЙТ	1°	1280±100	720±80	535±90	415±70
	5°	бесконечно	960±70	745±100	480±80
	10°	бесконечно	1325±70	755±80	490±65
ТРИТ	1°	1250±100	640±80	420±90	335±70
	5°	бесконечно	950±70	470±100	460±80
	10°	бесконечно	1170±70	730±80	490±65

Обозначения: АХР. – ахроматические стимулы на ахроматическом фоне, К/З – насыщенные красные стимулы на зеленом фоне, к/з – ненасыщенные красные стимулы на зеленом фоне, З/К – насыщенные зеленые стимулы на красном фоне, з/к – ненасыщенные зеленые стимулы на красном фоне, С/Ж – насыщенные синие стимулы на желтом фоне, с/ж – ненасыщенные синие стимулы на желтом фоне, ПРОТ – стимулы протаноипической линии оттенков, ДЕЙТ – дейтероноипической линии и ТРИТ – тританоипической линии оттенков.

Так же, как и для ахроматических стимулов, для цветных стимулов ВМСП удлинялось с ростом эксцентриситета. При использовании насыщенных стимулов ВМСП на стимул размером 0,11° увеличивалось при переходе от 1° поля зрения к 5° в 2,7, 1,6, и 2,5 раза для красного, зеленого и синего

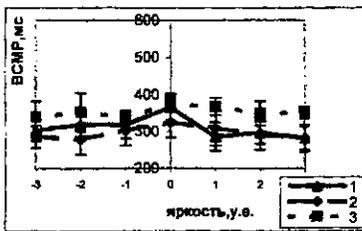
соответственно, а переходе от 5° к 10° в 1,3, 2,5 и 1,6 раза соответственно. При использовании стимулов более крупных размеров ВСМР с ростом эксцентриситета увеличивалось в 1,1-1,2 раза для всех цветов. В целом, для стимулов размерами $0,22^\circ$, $0,33^\circ$ и $0,55^\circ$ ВСМР на насыщенные цветные стимулы было предельно коротким (320-400 мс) и практически одинаковым для всех цветов и яркостей (Таблица 1, Рис. 2а).

Реакция на ненасыщенные цветные стимулы размером $0,11^\circ$ обнаруживалась только в зоне 1° и практически отсутствовала в других пространственных зонах. При стимуле размером $0,22^\circ$ ВСМР увеличивалось при переходе от 1° поля зрения к 5° примерно в 1,2 раза для разных цветов, а переходе от 5° к 10° в 1,2 для красного и синего цветов и в 1,6 раза для зеленого. При стимулах размерами $0,33^\circ$ и $0,55^\circ$ с увеличением эксцентриситета ВСМР увеличивалось примерно в 1,2 раза для всех цветов.

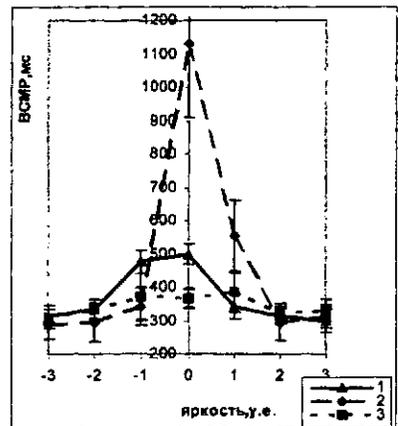
При использовании ненасыщенных стимулов, отличающихся по яркости от фона, времена СМР для красных, зеленых и синих стимулов были практически одинаковы, однако реакция на равнотонные стимулы была самой медленной на зеленый стимул, медленнее, чем на красный стимул в 1,3-2,3 раза. Для ненасыщенных красных и зеленых стимулов получены выраженные яркостные зависимости, характеризующиеся пиком (показывающим удлинение латентного периода) при равенстве стимула и фона по яркости. Самой быстрой оказалась реакция на синий стимул, который практически не обнаруживал яркостной зависимости и воспринимался в 1,3 раза быстрее, чем красный (Таблица 1, Рис. 2б).

В отличие от тестирования цветоопонентными стимулами, при использовании стимулов протанопической, дейтеранопической и тританопической линий, ВСМР нормальных трихроматов оказывалось таким же длительным, как при предъявлении ахроматических стимулов.

Рис. 2. ВСМР на цветные стимулы размером $0,22^\circ$ в зоне 5° а) насыщенные, б) ненасыщенные; линия 1 – красные на зеленом, линия 2 – зеленые на красном, линия 3 – синие на желтом фоне. По оси у – ВСМР, мс, по оси х яркость стимула в условных единицах.



а



б

В целом, данные этого раздела показывают, что использованные нами схемы стимуляции позволяют разделять яркостные и цветовые составляющие в восприятии точечных стимулов и дают представление о возможных размерах рецептивных полей, формирующих яркостные и цветовые каналы.

2. Оценка топографии цветовой и контрастной чувствительности при нарушениях сетчатки и зрительного нерва.

Фоторецепторы, нейроны сетчатки и волокна зрительного нерва являются входными звеньями зрительных каналов. Очевидно, что заболевания сетчатки должны сопровождаться нарушениями целостности зрительных каналов. Выявление отличий между нормой и патологией восприятия точечных световых стимулов может быть полезным для понимания организации каналов зрительной системы, а также служить основой для ранней диагностики и для контроля за развитием заболевания. В качестве «модельных» заболеваний, сопровождающихся нарушениями работы зрительных каналов, были выбраны макулодистрофия типа Штаргардта и глаукома. При глаукоме зрительные каналы страдают на уровне волокон зрительного нерва, которые последовательно механически сдавливаются в процессе развития заболевания. При этом у 30-40% больных глаукомой обнаруживается аномальное цветовосприятие (Drance et al., 1982; Adams et al., 1982; Kelly et al., 1996; Alvarez et al., 1988; Yu et al., 1991), связанное с разрушением цветоразличительных парвоцеллюлярных звеньев (исследование на обезьянах) на уровне ганглиозных клеток центрального поля зрения (Dandona et al., 1991; Quigley et al., 1982, 1987; 1988, Glovinsky et al., 1991, 1993; Smith et al., 1993). Специфика заболевания делает глаукому адекватной моделью зрительной системы с локальными отключениями каналов на уровне выходов от рецептивных полей сетчатки. Макулодистрофия (болезнь Штаргардта) сопровождается образованием мелких дыр в центральной зоне сетчатки и постепенной гибелью красных и зеленых колбочек, формирующих эту зону. Болезнь Штаргардта представляет модель сетчатки с постепенным выпадением яркостных, зеленых и красных каналов центрального поля зрения. В качестве модели сетчатки с нарушениями функции цветовых каналов были приняты два вида врожденной дихромазии – прото- и дейтераномалия.

Общая картина полученных зависимостей показала, что даже на начальных стадиях заболевания ВСМР по обнаружению стимулов не только заметно увеличивается, но и сам характер восприятия контраста и цвета резко меняется по отношению к норме (Рис. 3).

Тестирование при глаукоме. При ахроматических стимулах (Рис. 3а, кривая 2) ВСМР на малоконтрастные стимулы увеличивается в 2-2,5 раза по сравнению с нормой, при этом темные стимулы обнаруживаются медленнее, чем яркие. Для оппонентных красных и зеленых стимулов отличия от нормы были более значимыми (Рис. 3б, 3в, кривые 2). Кривые приобретали резко асимметричный характер, при котором ВСМР на темные стимулы удлинялось в большей степени, чем на яркие, и демонстрировало выраженную яркостную

зависимость, а зависимость ВСМР от яркости в реакции на яркие стимулы, как и в норме, имела платообразный вид. Другими словами, при глаукоме теряется цветоразличительная способность к красным и зеленым цветооппонентным стимулам, более темным чем фон, и различение таких стимулов начинает происходить по яркостному механизму, в то время как различение ярких стимулов производится с участием нормального цветового механизма. Несмотря на повышение яркостных порогов к красному и зеленому, красные и зеленые цветооппонентные стимулы, равные фону по яркости все же распознаются, что свидетельствует о частичной сохранности цветовосприятия. Для цветооппонентных стимулов с минимальным яркостным отличием (-1 и 1) от фона, ВСМР на темные зеленые стимулы увеличивалось в 3 раза по сравнению с нормой и на яркие - в 1,25 раза (Рис. 3в). Для темных красных стимулов ВСМР замедлялось в 2 раза и на яркие в 1,25 раза (Рис. 3б). При использовании цветных стимулов, предъявляемых на бежевом фоне (дополнительный цветоразличительный тест для больных) реакция на зеленый стимул уравненный с фоном по яркости была дольше, чем в норме в 2,6 раз, на стимулы темнее фона в 1,7 раз, а на стимулы, ярче фона соответствовало норме. Для цветооппонентных синих стимулов, предъявляемых на желтом фоне отличия от нормы были минимальны - также как в норме отсутствовала зависимость от яркости, а увеличение ВСМР по сравнению с нормой составляло 10%-15%.

В целом, согласно полученным данным, наиболее значимые нарушения локальной чувствительности при глаукоме проявляются в виде повышения порогов яркостной чувствительности к более темным, чем фон, стимулам при ахроматических, зеленых и красных стимулах и снижению цветовой чувствительности к зеленым и красным цветам.

Тестирование при макулодистрофии. При макулодистрофии яркостная чувствительность была резко ухудшена (Рис.3, кривые 4а и б). При этом у 50% больных кривая яркостной чувствительности приобретала ассиметричный характер (кривые 4б на Рис. 3а), поскольку способность к различению темных стимулов страдала в меньшей степени, чем для ярких стимулов. Так, при стимулах с градациями яркости -3 и -2 ВСМР увеличивалось в 2 раза, а к аналогичным стимулам положительного контраста - 3 и 2 оно возрастало в 3 раза. Эти различия в яркостном восприятии при заболеваниях макулы соответствуют существующим представлениям о независимой морфолого-нейрофизиологической основе темновых off-каналов и световых on-каналов.

При цветовом тестировании общей закономерностью для больных макулодистрофией было значительное увеличение ВСМР для любых стимулов по сравнению с нормой и проявление яркостной зависимости ВСМР. При этом, в отличие от нормы, наиболее трудно различимыми были не равнояркие с фоном цветовые стимулы, а цветовые стимулы на 1 градацию темнее фона. Эта тенденция была максимально выражена для темных зеленых цветооппонентных стимулов (Рис. 3в, кривая 4), для темных зеленых цветоразличительных стимулов, для красных стимулов, в половине случаев для ярких и в половине

случаев для темных (Рис. 3б, кривые 4а, б), а также для синих цветоопponentных стимулов (Рис. 3г, кривая 4).

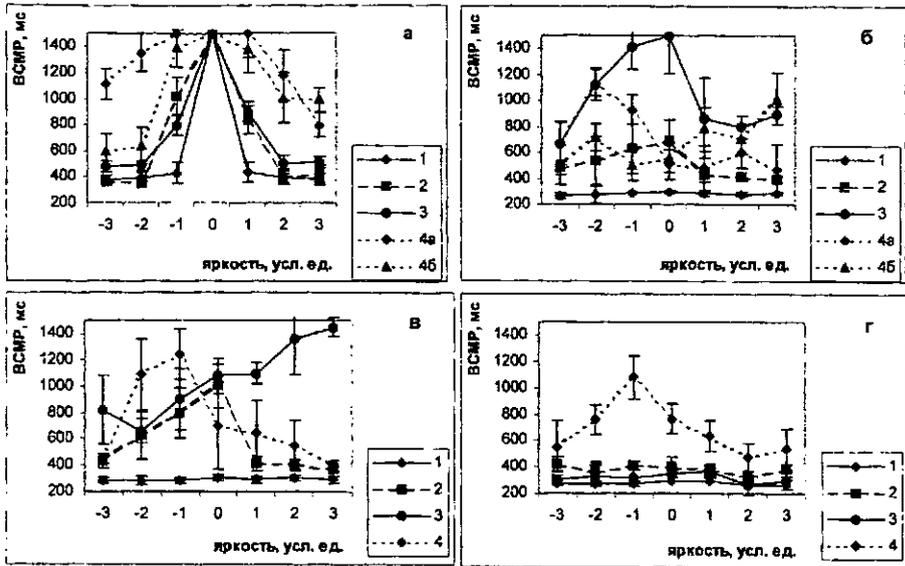


Рис. 3. ВСМР в норме и при глазной патологии. а) – ахромат., б) красные на зеленом, в) зеленые на красном, г) синие стимулы на желтом фоне. 1 – норма, 2 – глаукома, 3 – дейтеранопия, 4 а,б – макуло-дистрофия. а-г) – оси такие же, как на Рис. 1.

3. Тестирование полей зрения у цветоаномалов.

Как известно, дихроматы отличают неразличаемые ими цвета по их ахроматической яркости. Это предоставляет экспериментальную возможность попытаться разделить яркостные и цветовые составляющие зрительных каналов с помощью соответствующих цветных точечных стимулов.

Дейтераномалия. При тестировании цветоаномалов были использованы 7 видов стимулов. Во-первых, 4 вида стимулов, использованных для глазных больных (Рис. 3), и, во-вторых, стимулы 3-х линий ошибок врожденных дихроматов (Рис. 4). Согласно данным на рисунке 3 яркостная чувствительность дейтераномалов к ахроматическим стимулам несколько снижена по отношению к норме, но в целом имеет тот же характер. При использовании цветоопponentных зеленых стимулов на красном фоне реакция на зеленые стимулы резко замедлялась, при этом время реакции градуально увеличивалось с ростом яркости стимула (Рис. 3б, кривая 3). Реакции на цветоопponentные темные красные стимулов на зеленом фоне и на светлые стимулы оказалась совершенно различной. Так, ВСМР на темные стимулы имело выраженную яркостную зависимость, а ВСМР для стимулов ярче фона не зависело от яркости (Рис. 3в, кривая 3). Реакция дейтераномалов на цветоопponentные синие стимулы на желтом фоне была полностью в пределах

нормы (Рис. 3г., кривая 3), собственно как этого и следовало бы ожидать при данном виде цветоаномалии.

При тестировании с использованием стимулов линий цветовых ошибок было найдено, что ВСМР в наибольшей степени отличается от реакций нормальных трихроматов при стимулах дейтераноопической линии (Рис. 4б, кривая 3), в особенности на «зеленой» ветви. Восприятие стимулов протаноопической линии также было несколько затруднено. Стимулы тританоопической линии различались дейтераномами также успешно как и нормальными трихроматами (Рис. 4в, кривая 3).

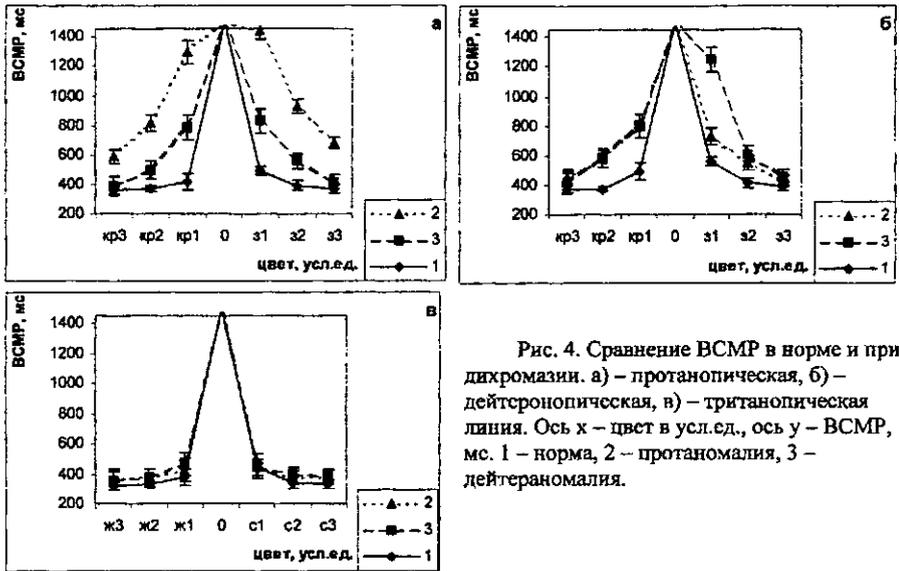


Рис. 4. Сравнение ВСМР в норме и при дихроматии. а) – протаноопическая, б) – дейтераноопическая, в) – тританоопическая линия. Ось х – цвет в усл.ед., ось у – ВСМР, мс. 1 – норма, 2 – протаноомалия, 3 – дейтераноомалия.

Протоаномалия. В тестировании протоаномалов участвовало 2 человека (4 глаза). При этом, согласно 2-х выборочному *t*-тестом Стьюдента выявленные различия были достоверными (Таблица 2).

Таблица 2. Вероятность (*p*) равенства средних для данных нормальных обозревателей и дихроматов по двухвыборочному *t*-тесту Стюдента с разными дисперсиями при двух хвостах распределения.

Линия	Протоаномал	Дейтераномал
Протаноопическая	0,00991	0,067479
Дейтаноопическая	0,053021	0,102439
Тританоопическая	0,88889	0,859419

Для тестирования протоаномалов использовались только стимулы цветовых линий ошибок дихроматов. Реакция протоаномалов на стимулы протаноопической линии была резко замедленной как на яркие, так и на темные

стимулы (Рис. 4а, кривая 2), а реакции на стимулы дейтернопической и тританопической линий были близки к норме (Рис. 4б и в, кривые 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Наши данные по психофизическому тестированию в заданных участках центрального поля зрения человека находятся в соответствии с фундаментальными представлениями зрительной психофизиологии и нейрофизиологии зрительной системы. Яркостные зависимости ВСМР согласуются с существующими представлениями, о том, что оценка различий между стимулом и фоном, осуществляется путем взаимного торможения (В- и D-нейроны) одноименных преддетекторов яркости стимула и фона (Соколов и др., 1989, Латанов и др, 1997, Latanov et al, 1999). Различия в восприятии стимулов разного размера, найденные нами, согласуются с известными данными о распределении плотности длинно-, средне- и коротковолновых рецепторов и организации РП полей сетчатки (Osterberg, 1935; Curcio et al., 1987; Хьюбел, 1990; Бызов., 1992; Cohen, 1992; Kolb, 1995).

Полученные данные позволяют выявить свойства различных каналов зрительной системы человека. Так, найдены достоверные различия во временных зависимостях, характерные для восприятия ахроматических и цветных стимулов. В отличие от реакции на ахроматические стимулы, при которой регистрируется длительное ВСМР, имеющее выраженную яркостную зависимость, обнаружение цветных стимулов происходит за короткое время. При этом насыщенные цветные стимулы, равные фону по яркости, обнаруживаются почти также быстро, как стимулы, отличающиеся от фона и по яркости и по цвету. Т.е., у нормальных трихроматов цветной точечный стимул опознается гораздо скорее, чем такой же ахроматический. Ненасыщенные цветные стимулы, равные фону по яркости, опознаются медленнее, чем насыщенные. Можно предположить, что с уменьшением цветности стимула в реакции увеличивается роль яркостных каналов. Кроме того, было установлено, что пороговые размеры стимулов в разных зонах поля зрения для ахроматических и цветных стимулов заметно различаются. Используемые ахроматические стимулы не имеют спектральной селективности и в равной мере возбуждают все типы колбочек. Таким образом, их различение возможно только с помощью яркостных каналов сетчатки. Нами использовались ахроматические стимулы как ярче, так и темнее фона, что соответствует on- и off-каналам колбочковой системы. Цветовые стимулы с предъявлением на оппонентном фоне были организованы так, что спектральная полоса светового излучения стимула с высокой избирательностью возбуждала соответствующий тип колбочек, а спектр излучения фона соответствовал спектральной чувствительности цветооппонентных колбочек, окружающих стимул. Так, синие стимулы совпадали со спектральной чувствительностью коротковолновых колбочек, а окружающий желтый фон по своей спектральной полосе соответствовал суммарной чувствительности средневолновых и длинноволновых колбочек. Красные стимулы имели селективную спектральную полосу для длинноволновых колбочек, в то время как

окружающий зеленый фон полностью соответствовал спектральной чувствительности средневолновых колбочек. Зеленые стимулы, в силу технических и физиологических ограничений, были равноселективны для средневолновых и длинноволновых колбочек, но используемый красный фон был высокоселективен для длинноволновых колбочек. В используемых условиях стимуляции цвета фонов, с одной стороны, создавали цветоселективную адаптацию для колбочек, окружающих стимул, а, с другой стороны, цвета стимулов и окружения были сформированы в соответствии с известным нейрофизиологическим устройством цветооппонентных рецептивных полей. Полученные данные и характер использованных стимулов позволяют предположить, что использованная нами система стимулов дает возможность в психофизическом эксперименте дифференцировать работу цветových и яркостных каналов. Как следует из результатов, максимальное быстрое различение стимулов оказывается возможным при отличиях и по цвету и по яркости, т.е. при одновременной работе яркостных и цветových каналов. Это соответствует нейрофизиологическим данным о том, что зрительная информация о базовых признаках воспринимаемых объектов обрабатывается в параллельных каналах (Бызов, 1992; Шевелев, 1992; Kolb, 1995; Kolb et al., 1995).

При тестировании нормальных трихроматов цветowymi «дихроматическими» линиями были получены зависимости, аналогичные яркостным (ахроматическим). При этом ВСМР увеличивалось с уменьшением различия между стимулом и фоном. При совпадении стимула и фона по цвету реакция не возможна, и функция разрывается так же, как и при тестировании ахроматическими стимулами. Наиболее вероятно, что механизм оценки цветových различий между стимулом и фоном аналогичен таковой при яркостных различиях, и осуществляется путем взаимного торможения одноименных преддетекторов. Можно предположить так же, что эксперименты по тестированию нормальных трихроматов стимулами линий ошибок врожденных дихроматов дают возможность оценки яркостной чувствительности каждого типа колбочек, поскольку использованные стимулы теоретически должны быть селективны для одного из 3-х типов колбочек.

На основании полученных данных, яркостные и цветové каналы центрального поля зрения человека в пределах 10° имеют следующие основные параметры: для яркостных каналов минимальное ВСМР при суммарной активности 3-х видов колбочек (ахроматические стимулы) составляет около 450 мс; для коротковолновых колбочек (стимулы тританопической линии) - около 350 мс; для средневолновых колбочек (стимулы дейтеронопической линии) - около 420 мс; для длинноволновых колбочек (стимулы протонопической линии) - около 350 мс. Для цветových каналов минимальное ВСМР составляет: красно-зеленые каналы - около 250 мс; сине-желтый канал - около 260 мс. При этом для центральной зоны в 1° и минимальном размере стимула в $0,11^\circ$, ВСМР яркостных каналов составляет около 1300 мс, а ВСМР цветových каналов - около 360 мс. По нашей оценке, временное разрешение яркостных каналов в 2-3 раза хуже, чем у цветových каналов. Основные различия в пространственной

чувствительности каналов выглядят следующим образом: 1) для яркостных каналов (ахроматические стимулы, и стимулы линий ошибок дихроматов) существуют пороговые ограничения по различению стимулов минимального размера – они вообще трудно обнаруживаются и полностью неразличимы при полях зрения свыше 5 градусов; 2) для цветонасыщенных стимулов пороговых ограничений не наблюдается; 3) при ненасыщенных цветовых стимулах наблюдаются более тонкие различия, которые, по-видимому, связаны с тем, что эти стимулы анализируются обоими видами каналов. Хуже всего различаются ненасыщенные зеленые, в лучшей степени красные, и быстрее всего различаются синие стимулы.

Сопоставление результатов, полученных в норме и при глазных заболеваниях, позволяет, с одной стороны, судить о характере нарушений на уровне различных каналов и, с другой, оценить эффективность предложенных стимулов для селективного тестирования разных видов зрительных каналов. Особенностью тестирования больных глаукомой было то, что при всех использованных стимулах ВСМР было дольше, чем в контрольной группе. Результаты, выявляющие повышение порогов реакций на цветовой и яркостный локальные контрасты у больных глаукомой, соответствуют морфологическим, характерным для глаукомы нарушениям, обнаруженным в экспериментах на обезьянах (Dandona et al., 1991; Quigley et al., 1987; Glovinsky et al., 1993; Smith et al., 1993; Schiller et al., 1990). Кроме того, при глаукоме обнаружена асимметрия в реакциях на яркие и темные стимулы, воспринимающиеся с одинаковой быстротой при нормальном состоянии сетчатки. Стимулы темнее фона (ахроматические, зеленые, красные) воспринимаются заметно медленнее, чем более яркие. Обнаруженная нами асимметрия свидетельствует о том, что предложенная система стимулов позволяет разделить в психофизическом эксперименте активность темновых и световых яркостных каналов, известных из нейрофизиологии (Kolb et al., 1995). Эти результаты подтверждают представления о том, что при патологическом процессе функции отдельных зрительных каналов могут нарушаться независимо друг от друга (Арефьева и др., 1996; Шамшинова и др., 1997а). Характер ВСМР для цветоопponentных синих стимулов у больных глаукомой сходен с нормой, что, по-видимому, связано с известными различиями в нейрофизиологическом и топографическом строении красно-зеленого и сине-желтого колбочковых путей (Dacey, 2000; Mullen and Kingdom, 2002). Келли с соавторами (1996) отмечают, что при начальной глаукоме в большей степени снижается чувствительность к уравненному с желтым фоном по яркости синему стимулу, хотя яркостные пороги к красному и зеленому цветам сильнее повышаются в сравнении с нормой, чем яркостные пороги к синему (Kelly et al., 1996). Согласно нашим данным, для ранней диагностики глаукомы предпочтительно использовать «красно-зеленые» стимулы, отличающиеся от фона по цвету и яркости.

При тестировании больных макулодистрофией было найдено, что ВСМР значимо медленней, чем в норме, при всех использованных стимулах. Стандартные цветовые методы не способны выявить изменения цветовосприятия больных макулодистрофией на начальных стадиях

заболевания (Frennesson et al., 1995; Midena et al., 1997). В то же время, нарушения цветовосприятия при макулодистрофии должны быть неизбежными, так как это заболевание сопровождается постепенной гибелью центральных колбочек (Holz et al., 2001; Шамшинова, 2001). Согласно проведенным экспериментам, ВСМР на точечные цветные стимулы позволяет выявить такие нарушения и оказывается более чувствительным диагностическим тестом, чем существующие. У всех больных макулодистрофией ВСМР на зеленые и синие стимулы более темные, чем фон, замедлялись в большей степени, чем на яркие стимулы. Кроме этого, у половины больных ВСМР на ахроматические и красные стимулы удлинялось в большей степени для ярких стимулов, чем для стимулов темнее фона. Таким образом, как и при глаукоме, проявляется независимость механизмов восприятия темных и светлых стимулов, что свидетельствует о том, что использованные стимулы позволяют дифференцированно анализировать работу световых и темновых каналов. Яркостная асимметрия при макулодистрофии может проявляться как в сторону темновых, так и в сторону световых каналов (Дворянчикова и др., 1997а, б). Это коррелирует с известными электроретинографическими данными об изменениях on- и off-ответов при макулодистрофии (Scholl 2001; Bush and Sieving, 1996). В соответствии с различиями в фазических ответах ЭРГ длинноволновых и средневолновых колбочек при макулодистрофии (Scholl, 2001), у одного и того же больного по разному повышаются пороги яркостной чувствительности к красному и зеленому цветам, что может сопровождаться снижением чувствительности к зеленым стимулам темнее фона и красным стимулам ярче фона. Соответствие полученных нами результатов и известных электрофизиологических данных свидетельствует об адекватности избранной нами системы психофизической стимуляции.

При тестировании протоаномалов и дейтераномалов стимулами соответствующих линий цветовых ошибок были получены закономерные результаты увеличения ВСМР по сравнению с нормальными трихроматами. При этом в соответствии с видом цветоаномалии, ВСМР в большей степени замедлялось при различении оттенков «своей» линии дихроматических цветовых ошибок. У протопопов и дейтеронопов при предъявлении оттенков тританопической линии ВСМР оставалось в пределах нормы. ВСМР дейтераномалов на ахроматические и синие стимулы практически совпадало с контрольным. ВСМР на зеленый стимул на красном фоне градуально нарастало с увеличением яркости стимула, а при реакции на красный стимул на зеленом фоне чувствительность в большей степени снижалась по сравнению с нормой при различении уравненного с фоном стимула и стимулов менее ярких, чем фон. Эти результаты согласуются с классическими данными, свидетельствующими, что у дейтеранопов чувствительность к синим и ахроматическим цветам близка к нормальной, при этом дейтеранопы не различают темно-красные и ярко-зеленые оттенки, а различение зеленых и красных цветов происходит у них преимущественно по яркости (Кравков, 1951; Рабкин, 1971; Юстова, 1993). В тестировании дейтеранопов предъявлением

зеленых и красных оттенков на нейтральном бежевом фоне максимальная задержка реакции была получена на равнояркий фону зеленый стимул. Красный стимул, равный фоном по яркости, воспринимался значительно быстрее, чем зеленый, однако медленнее, чем у контрольной группы. Аналогичные результаты получил Рабин (1996), используя красные и зеленые буквенные стимулы на равноярком сером фоне (Rabin, 1996). Наши результаты по тестированию цветоаномалов стимулами, сформированными на цветном ЭЛТ-мониторе, соответствуют классическим данным, полученным с помощью аномалоскопа либо цветных таблиц (Кравков, 1951; Рабкин, 1971; Юстова, 1993; Farnsworth, 1947). Это свидетельствует о том, что цветовая палитра ЭЛТ-монитора позволяет формировать цвета для тестирования цветоаномалий, о том, что проведенные нами расчеты по формированию цветных стимулов представляются нам вполне корректными, и что разработанная палитра цветовых стимулов позволяет выявлять природный цветодефицит.

Полученные данные свидетельствуют о том, что предложенные в данной работе схемы световой стимуляции позволяют в психофизическом эксперименте исследовать свойства отдельных зрительных каналов. Использованный метод поточечного тестирования позволяет оценить их топографию, временные свойства, их яркостную и цветовую чувствительность. Предложенные схемы стимулов дают возможность составлять индивидуальные топографические карты центрального поля зрения и выявлять характерные локальные нарушения цветовой и яркостной чувствительности при глазных заболеваниях.

ВЫВОДЫ

1. На основе современных представлений о нейрофизиологии сетчатки и психофизиологии человеческого зрения разработан компьютерный метод с использованием точечных стимулов различного цвета, насыщенности и яркости, который позволяет исследовать функциональную топографию яркостных и цветовых каналов и их временные характеристики.
2. Произведена оценка различий в скорости восприятия яркостных и цветовых каналов. Показано, что восприятие по цвету происходит быстрее, чем по яркости. В норме при стимуляции цветовых каналов ВСМР составляет около 300 мс. ВСМР обнаружения ахроматических стимулов составляет не менее 450 мс. При одновременной работе цветовых и яркостных каналов ВСМР оказывается максимально коротким— около 250 мс.
3. Произведена оценка различий времени обнаружения в цветооппонетных каналах. Установлено, что разные цветооппонентные каналы работают в одном временном диапазоне, а распределение конкретных величин ВСМР в поле зрения зависит от топографии соответствующих каналов в сетчатке.
4. Пороговые размеры стимулов увеличиваются от центра поля зрения к периферии. В исследованном участке поля зрения пороговые размеры стимулов находятся в пределах от $0,11^\circ$ до $0,22^\circ$, что соответствует нейрофизиологическим данным о размерах РГП в этой зоне.

5. С помощью разработанного нового компьютерного метода исследования цветовой и яркостной чувствительности выделены новые функциональные симптомы, отражающие нарушения работы различных каналов зрительной системы при заболеваниях глаукомой и макулярной дистрофией.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Арефьева Ю.А., Шамшинова А.М., Лелекова А.П. (Дворянчикова А.П.), Нестерюк Л.И. Цветовая контрастная чувствительность в ранней диагностике глаукомы // Тез. докладов Девятого съезда офтальмологов Украины. - Одесса: 1996. - С. 195-196.
2. Лелекова А.П. (Дворянчикова А.П.). Анализ топографии контрастной чувствительности зрительного анализатора человека в норме // Тез. докладов межд. конф. студ. и аспирантов. «Ломоносов-96». - М.: МГУ, 1996. - С. 15.
3. Shamshinova A.M., Dvoryanchikova A.P. Functional topography of on/off system of retina // abstracts of Congress «SOE-97», Hungary, Budapest, 1997. - P. 308.
4. Арефьева Ю.А., Шамшинова А.М., Лелекова А.П. (Дворянчикова А.П.) Функциональная топография on-, off-каналов колбочковой системы сетчатки в диагностике начальной глаукомы // Вестник Офтальмологии – 1997, №2. - С. 28 – 30.
5. Дворянчикова А.П. Анализ работы on- и off-каналов сетчатки по времени сенсомоторной реакции в ответ на точечные ахроматические стимулы. // Тез. докладов межд. конф. студ. и аспирантов. «Ломоносов-97». - М.: МГУ, 1997. - С. 27.
6. Дворянчикова А.П., Шамшинова А.М., Арефьева Ю.А. Анализ работы on- и off-каналов сетчатки по времени сенсомоторной реакции в ответ на точечные ахроматические стимулы в поле зрения с угловым размером 21 градус. // Журнал высшей нервной деятельности. – 1997, Т. 47. - С. 1044 - 46.
7. Шамшинова А.М., Арефьева Ю.А., Дворянчикова А.П., Борисова С.А. Функциональная топография on-, off-каналов колбочковой чувствительности // Тез. докладов научно-практич. конф. «Современные аспекты нейроофтальмологии». - М.: НИИ им. акад. Бурденко РАМН, 1997. - С. 15-16.
8. Шамшинова А.М., Барсегян Г.Л., Дворянчикова А.П., Арефьева Ю.А., Зольникова И.В. Новый метод исследования контрастной чувствительности активности on-off каналов колбочковой системы для диагностики заболеваний сетчатки и зрительного нерва. // Материалы научно-практич. конф. «Актуальные вопросы детской офтальмологии». - М.: МГНИИ им. Гельмгольца, 1997. - С. 111- 114.
9. Арефьева Ю.А., Еричев В.П., Шамшинова А.М., Дворянчикова А.П., Нестерюк Л.И. Психофизические методы исследования зрительных функций в ранней диагностике глаукомы: метод исследования топографии контрастной чувствительности.// Методическое пособие для врачей. - М.: МГНИИ ГБ им. Гельмгольца, 1999. - С.15.

10. Дворянчикова А.П., Белозеров А.Е., Зак П.П., Трофимова Н.Н., Барсегян Л.Г., Прокофьев А.Б. Люминофоры монитора как тестирующая система в методах исследования зрительной системе при глаукоме. // Тез. докладов конф. «Глаукома на рубеже тысячелетий: итоги и перспективы». - М.: МГНИИ им. Гельмгольца, 1999. - С. 83 - 85.

11. Дворянчикова А.П., Шамшинова А.М., Петров А.С. Новый метод диагностики нарушений цветового зрения // Тез. докладов научно-практич. конф. «Современные аспекты нейроофтальмологии». - М.: НИИ им. акад. Бурденко РАМН, 1999. - С. 27 - 29.

12. Зак П.П., Голиков П.Е., Мосин В.М., Дворянчикова А.П. Цветоконтрастные очковые линзы и способ их получения // Патент РФ на изобретение №2142763, от 20.12.99.

13. Шамшинова А.М., Белозеров А.Е., Петров А.С., Барсегян Г.Л., Дворянчикова А.П., Арефьева Ю.А., Борисова С.А., Зольникова И.В., Кривошеев А.А. On/off-активность колбочковой системы сетчатки человека и пространственная контрастная чувствительность в психофизических исследованиях // Сб. науч. труд. (посвящен памяти А.В. Рославцева). - М.: МГНИИ им. Гельмгольца, 1999. - С. 33 - 44.

14. Dvorianchikova A.P., Shamshinova A.M., Salminen L. The colour vision testing of patients with macular diseases // abstracts of Scientific school «NATO Advanced Study Institute Modulation of Neuronal Signaling: Implications for Visual Perception». - Nida, Lithuania, July 2000. - P. 28-29.

15. Дворянчикова А.П., Белозеров А.Е., Зак П.П., Трофимова Н.Н. Спектральное распределение свечения люминофоров в сопоставлении со спектральной чувствительностью глаза // Сб. трудов 9-ого межд. симпозиума «Перспективные дисплейные технологии». - М.: Российское отделение SID, 2000. - С. 73.

16. Salmi J, Dvorianchikova A.P. Ruiskuvalettujen muovikappaleitten visuaalinen tarkastus. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tuotantotekniikan laitos. Raportti 55/2001. 67 s. ISBN 952-15-0672-5 (на финском).

17. Zak P.P., Dvorianchikova A.P. Luminescence spectrum and visual efficiency of color Video Display Terminals // Proceedings of SPIE. - 2001, V4511. - P.235-238.

18. Dvoryanchikova A.P., Rantanen R., Salminen L. Color contrast central perimetry // abstracts of «The XXXV Nordic Congress of Ophthalmology». - Tampere: 2002. - P. 111.

19. Шамшинова А.М., Дворянчикова А.П., Романова Е.В., Аркелян М.А., Егорова И.В., Зольникова И.В., Панкрушова Т.Г. Психофизические методы исследования в оценке функционального состояния макулярной области сетчатки // Клиническая физиология. Издание второе, переработанное и дополненное. Под ред. Шамшиновой А.М., Яковлева А.А., Романовой Е.В. - М.: МГНИИ ГБ им. Гельмгольца, Научно-медицинская фирма МБН, 2002. - С. 275 -294.

20. Шамшинова А.М., Петров А.С., Эскина Э.Н., Арефьева Ю.А., Дворянчикова А.П., Зольникова И.В., Ендриховский С.Н., Романова Е.В.,

Ибатулин Р.А. Способ диагностики приобретенных нарушений цветоощущения
// Патент РФ на изобретение № 2192158, от 10.11.2002.