

Распространенность наследственных нарушений цветовосприятия



И.А. Манаров

ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» Российской академии наук
Хорошевское шоссе, 76а, Москва, 123007, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2020;17(3):414–421

Цель: исследовать распространенность нарушений цветовосприятия у лиц молодого возраста, учащихся высшего учебного заведения. **Материал и методы.** Исследование было проведено в течение полугода — осеннего семестра. Всего обследовано 1609 студентов в возрасте 17–21 год, преимущественно младших курсов обучения, юношей было 1191, девушек — 418. Обследование было проведено с целью определения групп здоровья при занятиях физической подготовкой и в различных спортивных секциях одного высшего учебного заведения. При офтальмологическом обследовании определяли нарушения рефракции, различную глазную патологию, что имеет значение для определения групп здоровья. При оценке нарушений цветовосприятия были использованы полихроматические таблицы Е.Б. Рабкина для исследования цветоощущения и цветовой тест Neitz Lab (UW Medicine). Проводили сравнение полученных результатов этих тестов по продолжительности, эффективности тестирования, определение диссимуляции, оценку смещения цветового спектра у лиц с нарушениями цветовосприятия. **Результаты.** Всего нарушения рефракции были выявлены у 856 студентов (53,2 %), из них миопия высокой степени у 40. Нарушения цветовосприятия отметили у 101 студента (8,48 %) из 1191 обследуемого лица мужского пола при использовании цветового теста Neitz. Дихромазия обнаружена у 2,1 % студентов, из них дейтеранопия — в 1,43 %. Более всего было выявлено нарушений относительно восприятия оттенков светло-коричневого и светло-зеленого цвета. У трети здоровых студентов отмечали нарушение в различении светло-коричневого цвета от светло-серого. Эти изменения не были связаны с рефракцией глаза. Одновременное нарушение восприятия оттенков красного, зеленого, желтого и синего цветов отмечено у 1 обследуемого, что было связано с врожденной катарактой. Еще у 4 юношей нарушения были обусловлены приобретенными заболеваниями глаза. У 2 девушек выявили нарушения восприятия пастельного оттенка светло-зеленого цвета, причем у одной девушки (0,24 %) нарушение было на двух глазах и, предположительно, было обусловлено генной аномалией, у еще одной девушки — на одном глазу, что было связано с частичной атрофией зрительного нерва после перенесенного оптического неврита. **Заключение.** Использование цветового теста Neitz расширяет диагностические возможности, поскольку в своем дизайне он имеет пастельные оттенки светло-зеленого и светло-коричневого цвета на сером фоне, уменьшает вероятность диссимуляции, сокращает время обследования. Благодаря своему дизайну тест Neitz Lab позволяет увеличить возможности для более точной и дифференциальной диагностики дихроматий, аномальных трихроматий и приобретенных нарушений цветовосприятия.

Ключевые слова: цветовые тесты, протанопия, дейтеранопия, протаномалия, дейтераномалия

Для цитирования: Манаров И.А. Распространенность наследственных нарушений цветовосприятия. *Офтальмология.* 2020; 17(3):414–421. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3-414-421>

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует

Благодарности. Автор благодарит генерального директора ООО «Национальная лига спортивной медицины» врача по лечебной физкультуре и спортивной медицине Штефан Ольгу Северовну за предоставленную возможность выполнения этого исследования.



Prevalence of Color Vision Deficiencies

I.A. Makarov

Institute of Biomedical Problems
Horoshevskoe highway, 76A, Moscow, 123007, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2020;17(3):414–421

Purpose. The study of color deficiencies prevalence in young people, students of higher educational university. **Materials and methods.** The study was carried for the half year — fall semester. A total of 1,609 students were examined, aged 17–21. There were 1191 boys and 418 girls. The survey was conducted to determine the health groups in physical training and in various sports sections. An ophthalmologic examination determined refractive disorders and other ocular pathology, which is important for determining health groups. Rabkin polychromatic tables and Neitz color vision test (Neitz Lab (UW Medicine) were used for determining of color deficiencies. The obtained results of these tests were compared in terms of the time spent on the test, the results of the test effectiveness, the determination of dissimulation, and the assessment of the shift in the color spectrum in individuals with impaired color perception. **Results.** A total of refractive disorders were detected in 856 students (53.2 %). The high degree of myopia was in 40. Disorders of color deficient were noted in 101 students (8.48 %) of 1191 male subjects when using the Neitz color test. Dichromatic eye changes were observed from 2.1 % students: protanopia and deuteranopia were in 0.67 % and 1.43 %. Most of all there were violations with the perception of shades of light brown and light green colors. A third of healthy students noted the impossibility of distinguishing light brown from light gray. This is regardless of the state of refraction. Simultaneous violations of the perception of shades of red, green, yellow and blue were observed in one subject, it was associated with congenital cataracts. In four young people, acquired eye diseases caused. In two girls, violations of the perception of a pastel shade of light green were noted, with one girl (0.24 %) having a violation in two eyes, and was presumably due to a gene anomaly. The second girl had one eye and was associated with partial atrophy of the optic nerve after the optic neuritis. **Conclusions.** Neitz color test expands the diagnostic possibilities, since in its design it has pastel shades of light green and light brown colors on a gray background, reduces the likelihood of dissimulation, reduces the time of the survey. Neitz color test allows to expand the possibilities for more accurate and differential diagnosis dichromatic and anomalous trichromatic subjects and acquired color vision defects.

Keywords: color vision tests, protanopia, deuteranopia, protanomaly, deuteranomaly

For citation: Makarov I.A. Prevalence of Color Vision Deficiencies. *Ophthalmology in Russia*. 2020;17(3):414–421. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3-414-421>

Financial Disclosure: The author has no financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests

Acknowledgment. The author thanks Stefan Olga Severovna, director of the “National League of Sports Medicine” LLC for the opportunity to perform this research.

ВВЕДЕНИЕ

У взрослого здорового человека имеется 6–7 млн конических высокоспециализированных клеток, преобразующих световые раздражения в нервные импульсы, которые по зрительным волокнам следуют от сетчатки до зрительной коры головного мозга и обеспечивают цветное зрение. Колбочки локализованы преимущественно в центральной зоне сетчатки, содержат зрительный пигмент йодопсин. Опсины различны по своему составу и в зависимости от спектра поглощения бывают трех типов: цианолаб, хлоролаб и эритролаб. Соответственно, колбочки подразделяются в зависимости от длины волны поглощаемого света на Short, S-cone с диапазоном восприятия длины волны от 400 до 500 нм (короткий синий спектр), на Medium, M-cone с диапазоном в 450–630 нм (средний зелено-желтый спектр) и Long, L-cone в 500–700 нм (длинный желто-красный спектр). Опсины в сумерки теряют способность реагировать на свет и не обеспечивают цветное зрение. Более чувствительный к свету родопсин восприимчив даже к 2–3 фотонам, содержится в цилиндрических светочувствительных клетках (палочках), сосредоточенных по всей сетчатке. В темное время суток спектр его поглощения приходится на фиолетовый цвет, а в условиях дневного освещения смещается в синюю часть спектра [1, 2].

Исследования, проведенные в последние годы, открыли новый вид фоторецепторных клеток сетчатки — ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells), локализуемых в ганглиозном слое сетчатки. В отличие от других ганглиозных клеток, ipRGC содержат пигмент меланопсин, световая чувствительность которого находится в области 460–484 нм в синей части спектра. Основная роль этих клеток связана с обеспечением представления об интенсивности света, его яркости и напрямую зависит от энергии фотона. Считается, что они вместе с колбочками и палочками обеспечивают зрение у человека [3, 4].

M- и L-колбочки кодируются генами, расположенными близко друг от друга в рецессивном аллеле «С» на половой X-хромосоме. У женщин в гаплоидном наборе имеются две X-хромосомы, у мужчин только одна X, а другая — Y — этого аллеля не имеет. Это означает, что у мужчин имеется только один набор генов на одной X-хромосоме. Поэтому при дефектах в этих генах на одной X-хромосоме другая X-хромосома у женщин берет на себя эти утраченные функции, в отличие от мужчин. Соответственно женщины очень редко страдают нарушениями цветовосприятия, но они могут передавать генные аномалии своему потомству по дефектной 23 X-хромосоме. S-колбочки кодируются геном, локализованным в 7-й паре X-хромосом,

I.A. Makarov

Contact information: Makarov Igor A. igor-niigb@yandex.ru

Prevalence of Color Vision Deficiencies

и наследственные нарушения восприятия синего цвета встречаются как у мужчин, так и у женщин примерно в 0,01 % случаев [3, 5].

При наличии генной аномалии или наследовании дефектных генов в колбочках нарушается синтез цветовых пигментов, что негативно сказывается на цветовосприятии красного и зеленого цветов, их оттенков в зависимости от тяжести аномалии.

Для диагностики нарушений цветовосприятия в разное время были предложены разнообразные тесты. В нашей стране в основном используют полихроматические таблицы проф. Е.Б. Рабкина. В неясных и более сложных случаях, а также для точной диагностики и объективизации исследований применяют аномалоскопы. Последние, однако, требуют много времени при диагностике и не всегда доступны в широкой офтальмологической практике.

Тесты на цветовое зрение необходимы для отбора кандидатов на определенные профессии и виды деятельности, требующие высокого качественного цветового зрения. В силу доступности отечественных тестов лица с нарушениями цветового зрения для прохождения медицинских освидетельствований нередко прибегают к диссимуляции. Тем не менее имеются так называемые композиционные тесты, которые, в отличие от полихроматических таблиц, в нашей стране мало известны и совсем не употребляются при медицинских обследованиях.

Цель работы: исследование распространенности нарушений рефракции и цветовосприятия у лиц молодого возраста, учащихся высшего учебного заведения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Данная работа была проведена в рамках обследования студентов младших курсов, посещающих занятия по физической подготовке и спортивные секции, а также студентов, освобожденных от этих занятий. Всего в течение осеннего семестра 2017 года было обследовано 1609 студентов Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт». Были обследованы студенты с 1-го по 3-й год обучения в возрасте от 17 до 21 года, юношей было 1191, девушек — 418.

Обследование выполнено для определения группы по занятиям физической подготовкой и в спортивных секциях. Офтальмологическое обследование включало определение остроты зрения с очковой коррекцией, скиаскопию или авторефрактометрию по показаниям, биомикроскопию сред глаза и офтальмоскопию. Критериями для определения группы по занятиям физической подготовкой являлись наличие нарушений рефракции: миопия слабой, средней и высокой степени, наличие дистрофических изменений на глазном дне, врожденная и приобретенная патология глазного яблока и его придатков.

Цветовосприятие определяли двумя методами. Для первого метода использовали цветовой тест Neitz (Neitz Lab, UW Medicine, Department of Ophthalmology).

При выявлении нарушений цветовосприятия использовали второй метод, включающий предъявление пациенту полихроматических таблиц Е.Б. Рабкина (издательство «Лидермед», С.-Петербург). Вторым методом использовали для сравнения результатов. Результаты сравнивали по времени, затраченному на исследование, определению эффективности тестирования, возможности исследования смещения цветового спектра у лиц с нарушениями цветовосприятия.

Цветовой тест Neitz включает девять картинок, которые можно предъявлять пациенту в любой последовательности. Для удобства пользования эти девять картинок были размещены на одном листе формата А4 и напечатаны на фотопринтере Canon PIXMA Pro 100S на матовой фотобумаге (рис. 1). Каждая картинка состоит из серых округлых фигур (точек), размером в 1 и 2 мм в диаметре, которые, чередуясь друг с другом, размещены в круге диаметром 5 см строго по вертикали и горизонтали с промежутками между ними белого цвета. Более темные точки в круге в некоторых картинках формируют одну геометрическую фигуру темно-серого цвета с размерами сторон 3,5 см. Фигура хорошо визуализируется всеми лицами независимо от нарушений цветовосприятия. Эта фигура — ромб, треугольник, круг или квадрат — в каждой картинке различна. Также

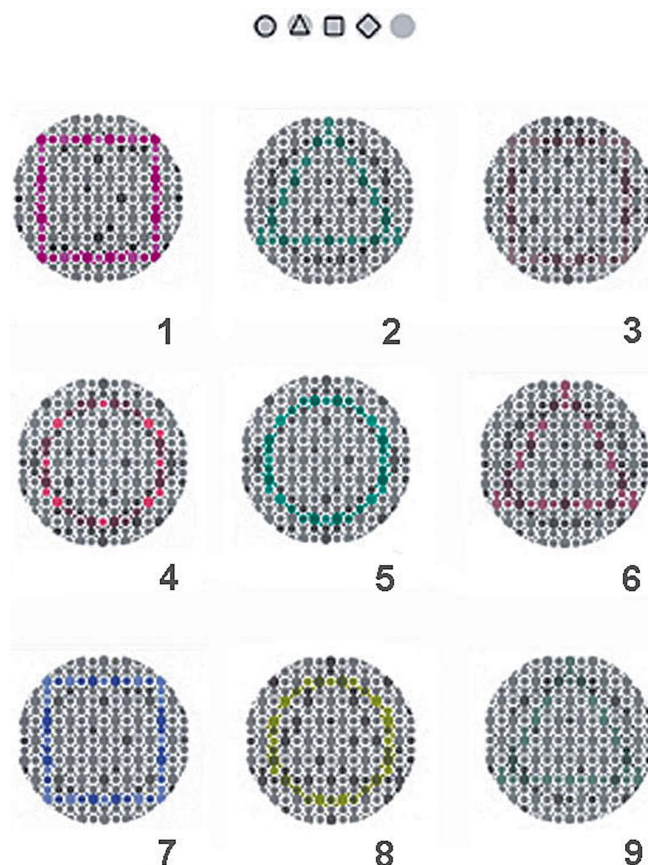


Рис. 1. Цветовой тест Neitz Lab

Fig. 1. Color vision test Neitz Lab

в каждой картинке имеется другая геометрическая фигура, но определенного цвета.

При предъявлении теста испытуемого просят назвать цветные геометрические фигуры в девяти кругах по порядку или показывая картинки указкой. Обычно тест располагают на расстоянии 50 см от глаз, но в случаях затруднений с ответом предлагают рассматривать его под разными углами и разным расстоянием от глаз. По ответам определяют наличие нарушений цветовосприятия на определенный цвет. Второй способ (полихроматические таблицы Е.Б. Рабкина) хорошо известен в нашей стране, поэтому не требуется его детальное описание. Для диагностики цветовосприятия демонстрировали картинки основной группы таблицы (с 1 по 27), при нарушениях цветовосприятия — также в контрольной группе. Согласно инструкции тест располагали на расстоянии 50 см от глаз, для распознавания предлагали рассматривать картинку не более 5 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нарушения рефракции

Всего нарушения рефракции было установлены у 856 студентов (53,2 %), из них миопия высокой степени отмечена у 40 (2,5 %).

Следует отметить, что результаты, представленные в таблице 1, получены путем исследования рефракции

субъективным методом. Тем не менее можно определять общие закономерности. Оказалось, что лица с миопией среди студентов высшего учебного заведения составляют более половины. Девушки с миопией составляют 62,6 %, то есть более юношей на 12,5 %, причем больше всего в группе с миопией средней степени. Односторонняя миопия обнаружена у 21 юноши и у 15 девушек. Гиперметропическая рефракция составляла от 1,0 до 5,5 дптр (в среднем $2,27 \pm 1,15$).

659 студентов (79,7 %) использовали средства коррекции при нарушениях рефракции, в основном — очки (43,2 % от всех средств коррекции). 20 человек перенесли кераторефракционные операции. Остальные использовали контактную коррекцию (табл. 2). В отношении средств коррекции прослеживаются четкие гендерные различия: девушки предпочитают не носить очки, чаще используют контактную коррекцию (52,2 % против 29,5 % у юношей). Как девушки, так и юноши в основном применяют безопасный режим ношения контактных линз (КЛ), снимая их на ночь, чаще используя однодневные или 2-недельные КЛ марки, хорошо известной в столичном регионе.

Цветовосприятие у здоровых лиц

При применении теста Neitz все девять фигур здоровыми лицами называются правильно за 12–15 с. Вызывает замедление с ответом фигура, расположенная

Таблица 1. Распространенность нарушений рефракции у студентов

Table 1. The prevalence of refractive disorders among students

Рефракция, дптр / Refraction	Юноши / Boys (n = 1191)	%	Девушки / Girls (n = 418)	%
Миопия до 0,5 / Myopia till 0,5 D	63	5,3	23	5,5
Миопия от 0,75 до 3,0 / Myopia from 0,75 to 3,0 D	320	26,9	117	30
Миопия от 3,25 до 6,0 / Myopia from 3,25 to 6,0 D	185	15,5	101	24,2
Миопия от 6,25 / Myopia from 6,25 D	28	2,4	12	2,9
Всего с миопией / In total of myopia	561	50,1	253	62,6
Гиперметропия / Hyperopia	11	0,9	2	0,5
Амблиопия на один глаз / Amblyopia	2	0,17	1	0,24

Таблица 2. Разновидности применяемых средств коррекции при нарушениях рефракции

Table 2. Varieties of correction methods used for refractive disorders

Виды коррекции / Correction variety	Юноши / Boys (n = 572)	%	Девушки / Girls (n = 255)	%
Однодневные КЛ* / 1-day contact lenses (CL)	27	4,7	43	16,9
2-недельные КЛ / 2 week CL	89	15,6	61	23,9
1-месячные КЛ / 1 month CL	31	5,4	18	7,1
3-месячные КЛ / 3 month CL	5	0,9	-	-
ЖКЛ / Hard CL	3	0,5	2	0,8
ОКЛ / Orthokeratology CL	14	2,4	9	3,5
Итого: КЛ / In total of CL	169	29,5	133	52,2
Очковая коррекция / Glasses	281	49,1	76	29,8
Ничего не используют / Do not use anything	122	21,3	46	18

Примечание: * КЛ — мягкие контактные линзы, ЖКЛ — жесткие контактные линзы, ОКЛ — ортокератологические контактные линзы.
Note: * KL — soft contact lenses, LCD — hard contact lenses, OKL — orthokeratological contact lenses.

в картинке № 3. Некоторые лица видят здесь квадрат, а некоторые круг. Определенно все называют правильно цвет — коричневый. Эта фигура сформирована из более темно-коричневых точек, которые вместе с темно-серыми может представляться в виде круга. Но правильный ответ — квадрат, поскольку он сформирован из тех же темно-коричневых точек и светло-коричневых, которые формируют его четыре угла. Ответы распределились по-разному. С первого раза правильно назвали фигуру только 156 юношей (13,1 %) и 149 (35,6 %) девушек. Было предложено более внимательно посмотреть на эту картинку под разными углами и с разного расстояния без ограничения лимита времени сначала одним глазом, потом другим и обоими еще раз. Еще 45 % юношей и 34,2 % девушек смогли рассмотреть в фигуре квадрат. По-прежнему видели в картинке № 3 только круг коричневого цвета 499 юношей (41,9 %) и 126 девушек (30,2 %). На основании этого можно предположить, что у трети здоровых юношей и девушек имеют место нарушения в восприятии цветовых тонов разной насыщенности и яркости, так что светлые оттенки коричневого цвета они не отличают от светло-серого цвета. Эти изменения выявлены на обоих глазах одновременно, что, вероятнее всего, связано с индивидуальными особенностями большой группы здоровых лиц. Следует отметить, что эти нарушения не зависели от степени и вида рефракции глаза.

У этих молодых людей провели исследование с помощью полихроматических таблиц Е.Б. Рабкина. Все испытуемые ответили правильно, как в основной группе таблицы, так и в контрольной. Продолжительность тестирования при предъявлении основной группы таблицы составила от 60 до 110 с.

Нарушения цветовосприятия

Нарушения цветовосприятия отмечали у 101 студента (8,48 %) из 1191 обследуемого лица мужского пола при использовании цветового теста Neitz. Все эти лица (100 %) не смогли правильно назвать фигуру в картинке № 3 и в картинке № 9 и определить цвет ошибочно называемых ими фигур. Помимо этого, многие из них не смогли увидеть фигуры и в других картинках. Результаты представлены на рисунке 2.

Картинки № 1, 5 и 7 являются маркерами протанопии, дейтеранопии и тританопии соответственно. Протанопия выявлена у 8 студентов (0,67 %), дейтеранопия у 17 студентов (1,43 %). Обнаруженные случаи дихромазии полностью подтвердились при проверке цветоощущения у этих студентов с помощью полихроматических таблиц Е.Б. Рабкина. При использовании основной и контрольной группы таблиц. Один студент не видел картинки 2, 3 и 6–9, то есть не воспринимал синий и желтые цвета вместе с оттенками зеленого и коричневого цветов. При осмотре установлено, что острота зрения была снижена до 0,4, не корригировалась очковыми линзами, и имела место зональная врожденная

катаракта, поэтому его цветоощущение не было связано с генной аномалией, а скорее всего, было обусловлено помутнением хрусталика. Четверо студентов имели приобретенные нарушения цветовосприятия на одном глазу. Они не смогли правильно определить цвет и фигуры в картинках 2, 3 и 9. У одного студента обнаружен парез наружной прямой мышцы и частичная атрофия зрительного нерва, у второго — горизонтальный нистагм, у третьего — частичная атрофия зрительного нерва после перенесенного неврита, у четвертого причину установить не удалось. Таким образом, с наследственными нарушениями цветовосприятия на двух глазах было всего 96 студентов (8,06 %) из 1191 лица мужского пола.

У 2 девушек отмечали также нарушения восприятия в картинках № 2, 3 и 9, причем у одной девушки (0,24 %) нарушение было на двух глазах и, предположительно, было обусловлено генной аномалией. У второй девушки — одностороннее, на одном глазу, и было связано с частичной атрофией зрительного нерва после ранее перенесенного оптического неврита.

При использовании теста Neitz интересно исследовать смещение спектра цветов у дихроматов. Так, дихроматы и нередко аномальные трихроматы в картинке № 7 часто определяли круг темно-синего цвета вместе с квадратом светло-синего цвета. В картинке № 8 определенно называли круг зеленого или желто-зеленого цвета. Дейтеранопы, не определяя зеленый цвет во всех фигурах 2, 5 и 9, в некоторых правильно называли фигуры, но серого или темно-серого цвета, тем самым показывая хорошие способности к различению оттенков серого цвета разной насыщенности и яркости.

Кроме дихромазии, цветовой тест Neitz позволяет выявить нарушения, характерные для аномальной трихромазии. Следует сразу определить, что в оставшихся картинках аномальные трихроматы не только не видели определенные фигуры, но и не определяли цвет в этих картинках или определяли его ошибочно согласно их представлениям. Картинки № 4 и 2 являются маркерами протаномалии и дейтераномалии более выраженной степени, чем картинки № 6 и 9. Фигуру в картинке № 4 не видели 39 студентов, из них 8 не определяли фигуру в картинке № 1, которая по цветовой насыщенности перекрывает фигуру 4. Следовательно, протаномалия выраженной степени наблюдалась у 31 студента (2,60 %). Фигуру в картине № 6 не видели 75 студентов, но 39 (8 + 31) студентов также не видели более насыщенные по цвету фигуры. Следовательно, протаномалия более легкой степени, чем предыдущая, наблюдалась у 36 студентов (3,02 %). Такие же закономерности относятся и к дейтераномалам. Дейтераномалия выраженной степени наблюдалась у 64 студентов (5,37 %), более легкой степени — у 20 студентов (1,68 %).

Как видно из таблицы 3, чаще встречается одновременное нарушение на зеленый и коричневый цвет. Сочетание протанопии и дейтеранопии установлено у 8 студентов (0,67 %), т.е. изолированной протанопии

ни в одном случае не отмечалось. Напротив, только дейтеранопия наблюдалась у 9 студентов (0,76 %). Сочетание протаномалии и дейтераномалии выраженной степени отмечали у 23 студентов (1,93 %), более легкой степени — у 32 студентов (2,69 %). Изолированную дейтераномалию наблюдали в выраженной и более легкой степени у 11 (0,92 %) и 10 (0,84 %) студентов соответственно.

Сравнительное исследование студентов с аномальной трихромазией, установленной с помощью цветового теста Neitz, показало, что в случаях с выраженной протан- и дейтераномалией таблицы Е.Б. Рабкина отражают те же результаты. Однако в более легких случаях с помощью полихроматических таблиц трудно дифференцировать протаномалию от дейтераномалии, поскольку ответы студенты дают неопределенно и не характерно для той или иной разновидности трихроманомалии. Легкую степень сочетанной протан- и дейтераномалии удалось установить у 9 из 32 студентов. В остальных случаях на обдумывание ответа у студентов уходило гораздо больше 5 с, хотя некоторые ответы были правильными, все же в общей оценке ответов установить ту или иную аномальную трихромазию было невозможно. В итоге подобные ответы вызывают сомнения в отношении правильного диагноза, что требует дообследования. С учетом этого в итоге полихроматические таблицы Е.Б. Рабкина показали наличие аномалий цветовосприятия у 73 студентов (6,13 %).

ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые о нарушениях цветовосприятия упоминает английский офтальмолог Турбервилль (Turberville) в XVII веке. В 1794 году английский физик и химик Д. Дальтон (J. Dalton), обнаружив у себя и у некоторых наблюдаемых им пациентов нарушение цветовосприятия, высказался о том, что некоторые люди, подобно ему, от рождения не могут различать красный и зеле-

ный цвет. В 1837 году А. Зеебек (A. Seebeck) впервые предложил тест с 300 картинками путем определения близкого по тону к цвету предлагаемого образца. Тест позволил диагностировать различные по тяжести проявления дальтонизма в красной и зеленой части спектра. В 1875 году Гольмгрен (Holmgren) развил принцип этого теста, используя различные по цвету мотки шерсти. Holmgren wool test широко использовался на протяжении более 100 лет. Последующие открытия позволили разработать современные методы оценки цветовосприятия. Д. Рэлей (Lord Rayleigh (John W. Strutt)) впервые создал оригинальную таблицу цветов, которая послужила для дальнейшего создания многих тестов на цветовосприятие, а также явилась основой для разработки аномалоскопов, принцип работы которых используется и в современных моделях. Д. Рэлей впервые описал дихромазию и аномальную трихромазию [6–8].

Эти исследования послужили основой для многих тестов, хорошо известных и до настоящего времени, таких как тесты Ишихары (S. Ishihara) и Е.Б. Рабкина.

Таблица 3. Распределение студентов с нарушениями цветовосприятия в зависимости от количества невидимых ими цветов в тесте Neitz

Table 3. Distribution of students with color deficiencies depending on the number of colors they cannot see in Neitz color test

Неопределяемые номера картинок / Undefined picture numbers	Количество студентов / Number of students	% (n = 1191)
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9	8	0,67
2, 3, 4, 5, 6, 9	9	0,76
2, 3, 4, 6, 9	23	1,93
2, 3, 6, 9	32	2,69
3, 6, 9	3	0,25
2, 3, 9	11	0,92
3, 9	10	0,84
Итого / In total	96	8,06

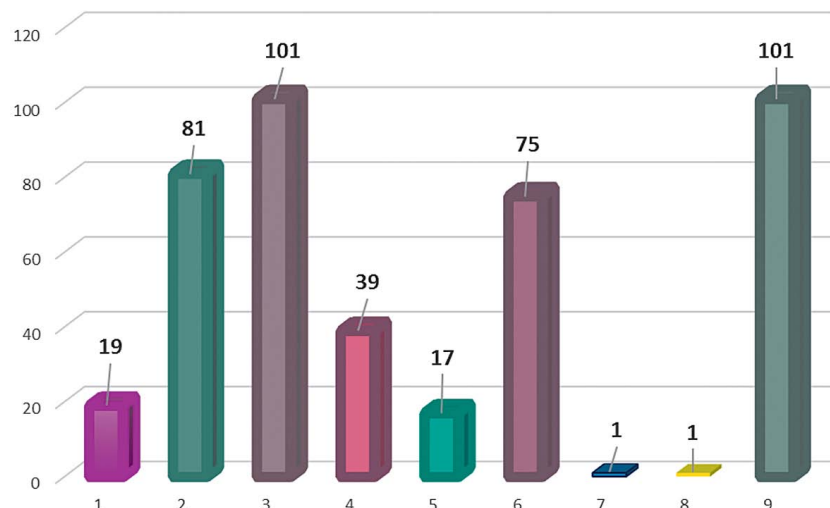


Рис. 2. Количество учащихся, не воспринимающих определенные цвета при нарушениях цветовосприятия (по оси абсцисс — номера картинок в тесте Neitz)

Fig. 2. Students with color deficiencies who do not perceive certain colors (on the x-axis — the numbers of pictures in the Neitz test)

Тест Ишихары используется для диагностики наследственных нарушений восприятия красного и зеленого цвета, тогда как полихроматические таблицы Е.Б. Рабкина применяются и для диагностики приобретенных нарушений. В современном варианте в нем содержится 48 картинок (из них 27 в основной группе таблиц). В тесте Ишихары — 38 картинок в полной версии, а в сокращенной до 24 и 14 картинок [9].

Применение этих методов прежде всего связано с длительным тестированием. Так, в нашем исследовании продолжительность тестирования при предъявлении основной группы таблицы Е.Б. Рабкина у здоровых лиц составила от 60 до 110 с. Если имелись какие-либо отклонения цветового зрения, то время тестирования обычно увеличивалось. В случаях дихромазии учащиеся определенно называли фигуры и цифры в картинках неправильно, что не вызывало сомнений в диагностике, в то время как при аномальной трихромазии ответы были нередко противоречивыми, с задержкой на обдумывание, что затрудняло дифференциальную диагностику, особенно в невыраженных степенях нарушений. При тестировании с помощью полихроматических таблиц Е.Б. Рабкина наличие нарушений цветовосприятия установлено у 6,13 % учащихся, тогда как при использовании теста Neitz — у 8,48 %. Разница в этих показателях приходится на лиц с аномальной трихромазией преимущественно легкой степени. Сама по себе эта степень не трагична для повседневной жизни, может быть только препятствием для определенных профессий, требующих качественного цветового различения предметов. Например, у электриков, у которых в профессиональной деятельности определенно встречаются электрические провода, пластиковая обмотка которых бывает светло-зеленого и светло-коричневого цвета.

Помимо других псевдоизохроматических тестов, в диагностике цветонарушений применяют композиционные тесты, такие, например, как тест 24 HRR (Hardy, Rand and Ritter), тест Echroma, также часто используют тесты, разработанные на основе сообщающихся тональных точек. Наиболее известен 40-оттеночный тест Лантони (Lanthon) и FM (Farnsworth-Munsell) 100-оттеночный тест, которые предложены еще в 40-х годах прошлого века. Оба теста имеют сокращенный вариант, в котором насчитывается всего 15 цветов. Каждый такой тест состоит из определенного числа дисков или пластин цветов разной тональности, которые испытуемый должен расположить в специальном ряду в порядке перехода одного тона к другому начиная с диска определенного цвета. Современные модификации имеют электронные версии и представлены в сети Интернет [9, 10].

Компьютерные технологии внесли свой вклад в дальнейшее развитие цветовых тестов. Практически все тесты, предложенные в разные годы прошлого столетия, сейчас имеют электронные версии. Но среди всего многообразия различных дисплейных устройств, отличающихся между собой, например, по яркости точек на дис-

плее и по ряду других показателей, один и тот же тест может сильно отличаться в разных устройствах. В связи с этим важно использовать откалиброванные мониторы согласно рекомендациям производителей электронных версий тестов, придерживаться цветовой температуры в 9000 К и проводить тесты в темной комнате. При соблюдении равных условий ошибки в диагностике цветовых аномалий при использовании цветовых тестов в книге, в планшете и даже в смартфоне минимальны. Тем не менее в Университете Лондона в 1994 году (2-я версия в 2017 г.) разработан цветовой компьютерный тест, в котором тестируемые картинки представляются в разных уровнях яркости в зависимости от условий настройки монитора и внешнего освещения [11, 12].

Один из последних композиционных тестов — тест невролога Д. Дерваль — представляет собой 39 оттенков различных цветов, собранных в виде полосок в цветах радуги. Обследуемому предлагают подсчитать общее количество полосок. Этот тест позволяет обнаружить как легкие, так и грубые нарушения цветового зрения. Согласно исследованиям этого автора, 25 % всех людей являются дихроматами и определяют в тесте до 20 оттенков, 50 % людей — трихроматы и в тесте определяют от 20 до 32 оттенков, остальные 25 % определяют более 33 оттенков и, возможно, относятся к тетрахроматам, предположительно, за счет наличия у них 4-го типа колбочек [13].

Гипотеза о наличии 4-х колбочек у человека была выдвинута еще в 1969 году, но пока никак не подтвердилась научными доказательствами, хотя в животном мире тетрахроматизм широко представлен у некоторых видов насекомых и хищных птиц [14, 15].

Также трудно согласиться с утверждением о наличии у четверти населения дихроматического цветового зрения. По литературным данным, только 2 % населения страдают дихроматизмом [16]. В нашем исследовании установлено, что протанопия выявлена у 0,67 % учащихся, а дейтеранопия у 1,43 %, что в сумме составляет 2,1 %. Тем не менее благодаря тесту Neitz было обнаружено, что более трети молодых здоровых людей, как юношей, так и девушек, не различают некоторые оттенки цветов, в частности светло-коричневый цвет идентифицируют со светло-серым цветом. Здесь можно провести некоторые параллели с результатами теста Дерваля о том, что 25 % людей различают в нем всего до 20 оттенков цветов. Возможно, дальнейшие исследования по изучению восприятия цветовых оттенков с разной степенью насыщенности и яркости могут выявить новые закономерности цветового зрения у практически здоровых лиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Цветовой тест Neitz Lab в своем дизайне сочетает такие теории цветовых моделей, как композиционная и теория сообщающихся тональных точек.

2. Благодаря своему дизайну тест Neitz Lab позволяет расширить возможности более точной и дифферен-

циальной диагностики дихромазий, аномальных трихромазий и приобретенных нарушений цветовосприятия.

3. Установлено, что нарушение цветовосприятия наблюдалось у 8,48 % учащихся, среди которых 8,06 % приходится на наследственные нарушения, связанные

с генной аномалией. Патология цветового зрения в виде дихромазии отмечена у 2,1 % учащихся, среди которых протанопия установлена у 0,67 %, а дейтеранопия — у 1,43 %. У остальных обследуемых обнаружена аномальная трихромазия разной степени выраженности.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Imamoto Y., Shichida Y. Cone visual pigments. *Biochim Biophys Acta*. 2014;1837(5):664–673. DOI: 10.1016/j.bbabi.2013.08.009
2. Yau K.W., Hardie R.C. Phototransduction Motifs and Variations. *Cell*. 2009;139(2):246–264. DOI: 10.1016/j.cell.2009.09.029
3. Woelders T., Leenheers T., Gordijn M.C., Hut R.A., Beersma D.G., Wams E.J. Melanopsin- and L-cone-induced pupil constriction is inhibited by S- and M-cones in humans. *Proc Natl Acad Sci U. S. A.* 2018;115(4):792–797. DOI: 10.1073/pnas.1716281115
4. Zaidi F.H., Hull J.T., Peirson S.N., Wulff K., Aeschbach D., Gooley J.J., et al. Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina. *Curr Biol*. 2007;17(24):2122–2128. DOI: 10.1016/j.cub.2007.11.034
5. Tsang S.H., Sharma T. Blue cone monochromatism. *Adv Exp Med Biol*. 2018;1085:65–66. DOI: 10.1007/978-3-319-95046-4_14
6. Snyder C. Turberville of Salisbury, physician for the eyes. *Arch Ophthalmol*. 1965;73(1):897–900.
7. Masters B.R. Lord Rayleigh: a scientific life. *Optics and photonics news*. 2009;6:36–41.
8. *Colour vision deficiencies*. Ed. B. Drum. N.-Y. Springer. 1994. 541 p. DOI: 10.1007/978-94-011-0507-1
9. Cole B.L., Lian K.Y., Lakkis C. The new Richmond HRR pseudoisochromatic test for color vision is better than the Ishihara test. *Clin Exp Optom*. 2006;89(2):73–80. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2006.00015.x
10. Good G.W., Schepler A., Nichols J.J. The reliability of the Lanthony desaturated D-15 test. *Optom Vis Sci*. 2005;82(12):1054–1059. DOI: 10.1097/01.opx.0000192351.63069.4a
11. Tsimprli P., Kuchenbecker J. Investigation of Color Vision Using Pigment Color Plates and a Tablet PC. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2016;233(7):856–859. DOI: 10.1055/s-0042-102059
12. García-Alba J., Esteba-Castillo S., Castellanos López M.Á., Rodríguez Hidalgo E., Ribas Vidal N., Moldenhauer Díaz F., Novell-Alsina R. Validation and normalization of the Tower of London-Drexel University test 2nd edition in an adult population with intellectual disability. *Span J Psychol*. 2017;20:E32. DOI: 10.1017/sjp.2017.30
13. Derval D. *Designing luxury brands*. N.-Y. Springer. 2018. 170 p. DOI: 10.1007/978-3-319-71557-5
14. Ingling C.R. A tetrachromatic hypothesis for human color vision. *Vision Research*. 1969;9:1131–1148. DOI: 10.1016/0042-6989(69)90052-2
15. Zimmermann M.J.Y., Nevala N.E., Yoshimatsu T., Osorio D., Nilsson D.E., Berens P., Baden T. Zebrafish differentially process color across visual space to match natural scenes. *Curr. Biol*. 2018;28:2018–2032. DOI: 10.1016/j.cub.2018.04.075
16. Davidoff C., Neitz M., Neitz J. Genetic testing as a new standard for clinical diagnosis of color vision deficiencies. *Transl Vis Sci Technol*. 2016;5(5):2. DOI: 10.1167/tvst.5.5.2

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» Российской академии наук
 Макаров Игорь Анатольевич
 доктор медицинских наук, старший научный сотрудник
 Хорошевское шоссе, 76а, Москва, 123007, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-5480-6454>

ABOUT THE AUTHOR

Institute of Biomedical Problems
 Makarov Igor A.
 MD, Senior Research Officer
 Horoshevskoe highway, 76A, Moscow, 123007, Russian Federation