

# Результаты количественной и качественной оценки цветового зрения у пациентов с врожденной частичной атрофией зрительного нерва



С.И. Рычкова<sup>1,2</sup> В.Г. Лихванцева<sup>2,3</sup> Р.И. Сандимиров<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук  
Большой Каретный переулок, 19, Москва, 127051, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБУ Государственный научный центр «Федеральный медицинский биофизический центр  
имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства  
ул. Гамалеи, 15, Москва, 123098, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФПН «Академия постдипломного образования» ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр  
специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий»  
Федерального медико-биологического агентства  
Волоколамское шоссе, 91, Москва, 125310, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ул. Островитянова, 1, Москва, 117997, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

## Офтальмология. 2024;21(1):152–161

Врожденная частичная атрофия зрительного нерва (ЧАЗН) является одной из основных причин слепоты и слабовидения у пациентов с патологией глазного дна. В диагностике и мониторинге зрительных функций важное значение имеет исследование цветового зрения. **Цель** — разработать собственный способ комплексной диагностики цветового зрения с количественной и качественной оценкой нарушений цветовосприятия и раскрыть его возможности у пациентов с частичной атрофией зрительного нерва. **Пациенты и методы.** Под наблюдением находились 55 пациентов в возрасте от 8 до 20 лет с врожденной частичной атрофией зрительного нерва (ЧАЗН) и типичной для данного заболевания картиной глазного дна, характерными показателями ЭФИ. Контрольная группа включала 116 человек того же возраста без патологии глазного дна и с нормальной остротой зрения. Для исследования цветового зрения в обеих группах использовали классический дихотомический тест Фарнsworthа — Манселла D-15 (Farnsworth-Munsell Dichotomous D15 Test) и разработанный собственный способ количественной и качественной оценки цветового зрения. **Результаты.** Разработанный способ позволил выявить нарушения цветовосприятия разной степени выраженности у большинства (около 90 %) пациентов с ЧАЗН, в то время как более 70 % человек контрольной группы продемонстрировали нормальное цветовосприятие. Количественная оценка цветового зрения при помощи разработанного нами способа показывает достоверно более высокие показатели суммарной ошибки восприятия цветовых тонов у пациентов с ЧАЗН (35,6 ± 3,2 градуса для лучше видящего глаза и 39,9 ± 3,3 градуса для хуже видящего глаза) по сравнению с обследуемыми контрольной группы (6,2 ± 1,1 градуса для лучше видящего глаза и 7,5 ± 1,3 градуса для хуже видящего глаза). Выраженность нарушений цветовосприятия у пациентов с ЧАЗН не зависит от возраста, но имеет достоверную обратную зависимость от остроты зрения. В группе пациентов с ЧАЗН при исследовании как лучше видящего, так и хуже видящего глаза выявляются нарушения восприятия всех цветовых тонов с небольшим преобладанием нарушений восприятия красного, зеленого и синего. Разработанный способ имеет высокую чувствительность и специфичность, сопоставимые с классическим тестом Фарнsworthа — Манселла D-15. **Заключение.** Разработанный способ позволяет эффективно осуществлять количественную и качественную оценку цветовосприятия у пациентов с ЧАЗН.

**Ключевые слова:** частичная атрофия зрительного нерва, цветовое зрение, методы диагностики цветового зрения

**Для цитирования:** Рычкова С.И., Лихванцева В.Г., Сандимиров Р.И. Результаты количественной и качественной оценки цветового зрения у пациентов с врожденной частичной атрофией зрительного нерва. *Офтальмология*. 2024;21(1):152–161. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-1-152-161>

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Конфликт интересов отсутствует.**



# Results of Quantitative and Qualitative Assessment of Color Vision in Patients with Congenital Partial Atrophy of the Optic Nerve

S.I. Rychkova<sup>1,2</sup>, V.G. Likhvantseva<sup>3</sup>, R.I. Sandimirov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> A.A. Hharkevich Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences  
Bolshoy Karetny lane, 19, Moscow, 127051, Russian Federation

<sup>2</sup> Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education of Russian State Research Center —  
Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical and Biological Agency  
Gamalei str., 15, Moscow, 123098, Russian Federation

<sup>3</sup> Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance  
and Medical Technologies of Federal Medical and Biological Agency of Russia  
Vokokolamskoe highway, 91, Moscow, 125310, Russian Federation

<sup>4</sup> N.I. Pirogov Russian National Research Medical University  
Ostrovityanova str., 1, Moscow, 117997, Russian Federation

## ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2024;21(1):152–161

**Background.** Congenital partial atrophy of the optic nerve is one of the main causes of blindness and low vision in patients with fundus pathology, and the study of color vision is important in diagnosis and monitoring visual functions in patients with this disease. Purpose: to study the possibilities of using the own developed method of quantitative and qualitative assessment of color vision in patients with partial optic nerve atrophy. **Materials and methods.** 55 patients aged from 8 to 20 years with congenital partial atrophy of the optic nerve (PAON) with a typical fundus pattern and EFI indicators for this disease were observed. The control group included 116 people of the same age without fundus pathology and with normal visual acuity. To study color vision in both groups, the classic Farnsworth-Munsell Dichotomous D15 Test and the own developed method for quantitative and qualitative assessment of color vision were used. **Results.** The method developed by us made it possible to identify color perception disorders of varying severity in the majority (about 90 %) of patients with PAON. In the control group, no color perception disorders were detected in more than 70 % of the subjects. Quantitative assessment of color vision conducted using the method developed by us demonstrates significantly higher indicators of the total error of perception of color tones in patients with PAON ( $35.6 \pm 3.2$  degrees for a better-seeing eye and  $39.9 \pm 3.3$  degrees for a worse-seeing eye) in comparison with the subjects of the control group ( $6.2 \pm 1.1$  degrees for a better-seeing eye and  $7.5 \pm 1.3$  degrees for a worse-seeing eye). The severity of color perception disorders in patients with PAON does not depend on age, but has a significant inverse relationship with visual acuity. In the group of patients with PAON, when examining both better-seeing eye and worse-seeing eye, perception disorders of all color tones are detected with a slight predominance of disorders of perception of red, green and blue. The method developed by us has sufficiently higher sensitivity and specificity in comparison with the classic Farnsworth-Mansell D-15 test. **Conclusion.** The method developed by us makes it possible to effectively carry out a quantitative and qualitative assessment of the state of color perception in patients with PAON.

**Keywords:** partial atrophy of the optic nerve, color vision, diagnostic methods of color vision

**For citation:** Rychkova S.I., Likhvantseva V.G., Sandimirov R.I. Results of Quantitative and Qualitative Assessment of Color Vision in Patients with Congenital Partial Atrophy of the Optic Nerve. *Ophthalmology in Russia*. 2024;21(1):152–161. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-1-152-161>

**Financial disclosure:** No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

**There is no conflict of interests.**

## ВВЕДЕНИЕ

Атрофия зрительного нерва представляет собой дегенеративный процесс в аксонах третьего нейрона зрительного пути начиная от ганглиозных клеток сетчатки до латерального колленчатого тела. По степени снижения зрительных функций атрофия зрительного нерва подразделяется на полную и частичную (ЧАЗН), а по времени возникновения — на врожденную и приобретенную. Причиной врожденной ЧАЗН часто является перинатальная патология: внутриутробная инфекция, ишемически-гипоксическая энцефалопатия, гидроцефально-гипертензионный синдром, внутричерепные

кровоизлияния при тяжелом родоразрешении, кровоизлияния в оболочку зрительного нерва и сетчатку, хроническая гипоксия и вторичные нарушения микроциркуляции тканей глаза и мозговых структур [1–5].

ЧАЗН является одной из основных причин слепоты и слабовидения у пациентов с патологией глазного дна [6]. Заболевание сопровождается выраженным угнетением всех зрительных функций: наряду со значительным снижением остроты зрения и сужением полей зрения у пациентов могут выявляться и нарушения цветовосприятия [7, 8]. В связи с этим актуальность проблемы исследования цветового зрения у пациентов с ЧАЗН не вызывает

S.I. Rychkova, V.G. Likhvantseva, R.I. Sandimirov

Contact information: Rychkova Svetlana I. [iana.rych@mail.ru](mailto:iana.rych@mail.ru)

Results of Quantitative and Qualitative Assessment of Color Cision in Patients...

сомнений. Между тем эффективная диагностика цветового зрения у пациентов разного возраста с офтальмопатологией осложнена тем, что, несмотря на свою простоту и доступность применения, многие существующие способы (табличные тесты, некоторые компьютерные программы, упрощенные панельные тесты ранжировки цветов) дают возможность только качественной, а не количественной оценки нарушений цветового зрения, что снижает информативность их применения в мониторинге. Другие методы (аномалоскопия, цветовая кампиметрия, регистрация ЭРГ и ЗВП на цветовые стимулы) предназначены в основном для диагностики цветового зрения взрослых и детей старшего возраста или требуют специального оборудования [9–19].

Одним из наиболее востребованных и информативных методов диагностики цветового зрения является ранжировочный 100-оттеночный тест Фарнsworth — Манселла (Farnsworth — Munsell 100 hue test) [19]. Тест представляет собой четыре набора (панели) цветных фишек (по 25 фишек в каждом) с поверхностями (дисками), цветовой тон которых последовательно меняется. Пациент должен расставить в каждой панели фишки в порядке изменения оттенка. Окончательное расположение цветных фишек характеризует его способность различать цветовые оттенки. Нарушения цветовосприятия оценивают по количеству случаев, когда фишка стоит не на «своем» месте, и по величине смещения фишки от правильного положения. Таким образом, тест позволяет осуществлять качественную и количественную оценку цветового зрения.

Недостатками 100-оттеночного теста Фарнsworth — Манселла являются его трудоемкость (требуется правильно расставить 100 фишек) и затратность по времени (длительность обследования составляет не менее 10 минут), что затрудняет его использование при массовых амбулаторных обследованиях пациентов.

В связи с этим был разработан сокращенный вариант — 15-оттеночный панельный тест Фарнsworth — Манселла, состоящий из контрольной голубой фишки и 15 съёмных фишек с постепенным изменением

цветовых тонов [20]. Перед проведением теста съёмные фишки перемешивают и просят пациента расставить (ранжировать) их по изменению оттенка. О состоянии цветовосприятия судят по успешности ранжировки фишек. По результатам качественной оценки цветового зрения в этом тесте обследуемых делят на две группы: 1) пациенты с тяжелыми и умеренными нарушениями цветового зрения; 2) пациенты с нормальным цветовосприятием и легкими нарушениями. В связи с этим тест был назван дихотомическим [20]. 15-оттеночный тест Фарнsworth — Манселла оказался более быстрым и удобным для скрининговых исследований, чем 100-оттеночный, однако недостаточно информативным в определении характера и выраженности нарушений цветового зрения. Таким образом, проблема разработки простых и доступных способов эффективной комплексной диагностики цветового зрения с качественной и количественной оценкой нарушений при разной офтальмопатологии, включая ЧАЗН, является одной из актуальных проблем современной офтальмологии.

Цель — разработать собственный способ комплексной диагностики цветового зрения с количественной и качественной оценкой нарушений цветовосприятия и раскрыть его возможности у пациентов с частичной атрофией зрительного нерва.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Наблюдали 55 пациентов в возрасте от 8 до 20 лет с врожденной частичной атрофией зрительного нерва (ЧАЗН) с типичной для данного заболевания клинической картиной (бледный диск зрительного нерва с четкими границами, низкая корригированная острота зрения, сужение границ полей зрения) и характерными показателями ЭФИ. Контрольная группа включала 116 человек аналогичного возрастного коридора (8–20 лет) с нормальным состоянием глазного дна и корригированной (в случае аметропии) остротой зрения не ниже 0,9. Клинические характеристики исследуемых групп представлены в таблице 1.

Нужно отметить, что в группе пациентов с ЧАЗН среднее значение остроты зрения для лучше видящего

**Таблица 1.** Клинические характеристики исследуемых групп

**Table 1.** Clinical characteristics of the examined groups

Клинические характеристики / Clinical characteristics	Группа пациентов с ЧАЗН (n = 55) / Group of patients with PAON (n = 55)	Контрольная группа обследуемых (n = 116) / Control group of subjects (n = 116)
Возраст (годы $M \pm m$ ) / Age (years $M \pm m$ )	14,3 ± 0,5	13,6 ± 0,3
Количество обследуемых женского/мужского пола / Number of boys/girls (%)	36/19 (65,4/34,6)	56/60 (48,3/51,7)
Распределение обследуемых в зависимости от вида рефракции / Distribution of subjects depending on the type of refraction (%)	Эмметропическая / Emmetropic	0
	Миопическая / Myopic	31 (56,3)
	Гиперметропическая / Hypermetropic	16 (29,2)
	Смешанный астигматизм / Mixed astigmatism	5 (9,1)
	Афакия / Aphakia	3 (5,4)
Острота зрения (с коррекцией в случаях аметропии), $M \pm m$ , усл. ед. / Visual acuity (with correction in cases of ametropia), $M \pm m$ , conventional units	Лучше видящего глаза / Better seeing eye	0,280 ± 0,020
	Хуже видящего глаза / Worse seeing eye	0,200 ± 0,020
Распределение обследуемых по наличию/отсутствию девиации, абс. число (%) / Distribution of subjects by presence/absence of deviation, abs. number (%)	Ортотропия / Orthotropia	18 (32,7)
	Сходящееся косоглазие / Convergent strabismus	25 (45,5)
	Расходящееся косоглазие / Divergent strabismus	12 (21,8)



**Рис. 1.** Дихотомический тест Фарнворта — Манселла D-15

**Fig. 1.** Farnsworth — Munsell Dichotomous D-15 test

глаза рассчитывали для 55 глаз, а для хуже видящего глаза — для 49 глаз (острота зрения хуже видящих глаз у шести пациентов соответствовала правильной проекции света).

В обеих группах средние значения остроты зрения лучше видящего и хуже видящего глаза пациентов были сопоставимы ( $p > 0,05$ ). Средние значения лучше и хуже видящих глаз с ЧАЗН были достоверно ниже аналогичных показателей глаз контрольной группы ( $p < 0,001$ ).

Цветовое зрение в обеих группах оценивали с помощью классического дихотомического теста Фарнворта — Манселла D-15 (Farnsworth — Munsell Dichotomous D15 Test) и разработанного собственного способа количественной и качественной оценки цветового зрения.

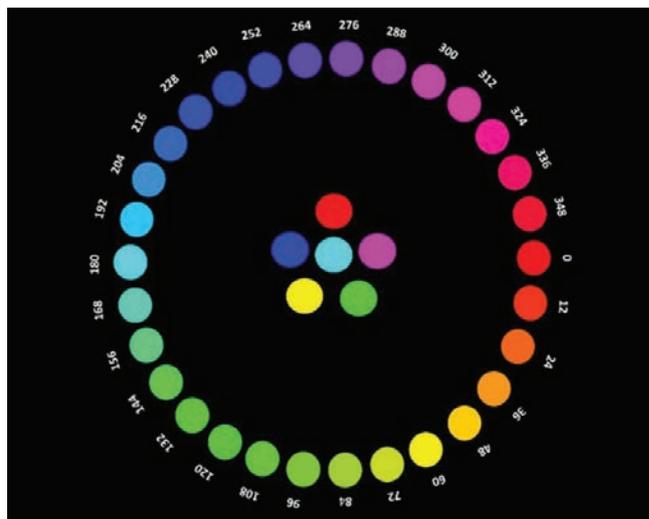
*Дихотомический тест Фарнворта — Манселла D-15 (Farnsworth-Munsell Dichotomous D15 Test)* представляет собой набор из цветных фишек: контрольной голубой и 15 съёмных, характеризующихся постепенным изменением цветовых тонов (рис. 1).

Перед проведением теста съёмные фишки перемещали. В задачи тестирования входила расстановка (ранжировка) их в ряд по изменению цветового оттенка начиная от контрольной фишки. Результаты заносили в оценочный лист. Каждый глаз исследовали отдельно, тестирование правого/левого глаза меняли в случайном порядке. При наличии аметропии тестирование проводили в очках или контактных линзах при одинаковой для всех освещенности 700 лк. Нарушения цветового зрения регистрировали при неправильном порядке ранжирования фишек в ряду. Время тестирования не ограничивали, обычно оно составляло 2–3 минуты.

*Разработанный способ количественной и качественной оценки цветового зрения* предусматривает предъявление обследуемому пациенту на экране монитора компьютера изображения, включающего 30 контрольных (неподвижных, расположенных по кругу) и 6 тестовых (перемещаемых при помощи мыши компьютера) цветных кружков на черном фоне соответственно цветовой модели HSL – яркость и насыщенность всех кружков L 50 %, S 100 %. Цветовые тона (H) всех соседних контрольных кружков различаются на 12°. Цветовые тона тестовых кружков соответствуют красному — H 0°, желтому — H 60°, зеленому — H 120°, голубому — H 180°, синему — H 240°, пурпурному — H 300° (рис. 2).

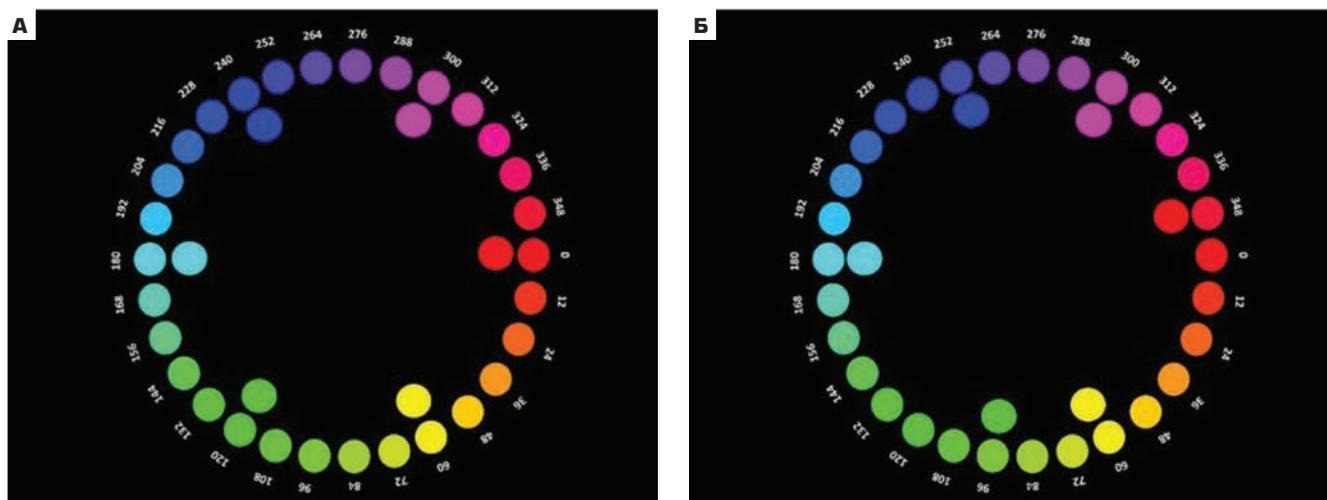
Каждый глаз исследовали отдельно (порядок тестирования правого/левого глаза меняли в случайном порядке) в условиях оптимальной оптической коррекции (в очках или контактных линзах) при одинаковой освещенности 700 лк. Тестовое изображение предъявляли на экране монитора на расстоянии 70 см от глаз. Предварительно проводили цветовую калибровку дисплея при помощи спектрофотометра i1pro (Rev. E) фирмы X-Rite и программы DisplayCal. Задачей обследования было поставить каждый из тестовых кружков (перемещая их при помощи мыши компьютера) на экране монитора рядом с тем контрольным кружком, с которым он воспринимается одинаковым по цветовому тону. Время выполнения теста не ограничивали, обычно обследуемому ребенку было достаточно 1–2 минуты.

При оценке цветового зрения учитывали: 1) количество ошибок в сопоставлении контрольного и тестового кружков; 2) цветовой тон, в определении которого ошибается обследуемый; 3) величину смещения (в градусах) тестового кружка от соответствующего ему контрольного. В тех случаях, когда обследуемый правильно устанавливал все тестовые кружки рядом с соответствующими им контрольными кружками, отмечали



**Рис. 2.** Разработанный способ количественной и качественной оценки цветового зрения

**Fig. 2.** The developed method of quantitative and qualitative assessment of color vision



**Рис. 3.** Примеры выполнения обследуемыми разработанного теста: А) все тестовые кружки правильно сопоставлены с соответствующими им контрольными кружками — нормальная трихромазия, Б) зеленый тестовый кружок смещен на 24° в сторону желто-зеленых оттенков, синий — на 12° в сторону фиолетовых оттенков, красный — на 12° в сторону пурпурных оттенков, суммарная ошибка восприятия цветовых тонов, таким образом, составляет 48°

**Fig. 3.** Examples of the test developed by the subjects: А) all test circles are correctly compared with their corresponding control circles — normal trichromasia, Б) the green test circle is shifted by 24° towards yellow-green shades, blue — by 12° towards purple shades, red — by 12° in the side of purple shades, the total error of perception of color tones in this way is 48°

нормальную трихромазию. Если обследуемый помещал тестовый кружок рядом с несоответствующим контрольным кружком, отмечали нарушение восприятия данного цветового тона, его выраженность оценивали в градусах (рис. 3).

Результаты анализировали отдельно для лучше видящего и хуже видящего глаза. В случаях, когда острота зрения правого и левого глаза при исследовании по таблице Сивцева — Головина была одинаковой, лучше видящим считали доминантный (ведущий) глаз. Доминантность глаза определяли, используя классический тест «карточка с отверстием» [21, 22].

Для сравнения выраженности нарушения цветовосприятия использовали суммарную ошибку восприятия разных цветовых тонов. Например, если при исследовании одного глаза пациент ошибался в определении красного тона на 12 градусов и синего тона на 24 градуса, то суммарной ошибкой цветовосприятия этого глаза считали 36 градусов.

Статистическую обработку материала проводили при помощи программы SPSS. Статистическая значимость была установлена на уровне 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение суммарных ошибок восприятия цветовых тонов выявило достоверную разницу между показателями группы пациентов с ЧАЗН и контрольной группы ( $p < 0,001$ ). Для лучше видящего глаза среднее значение суммарных ошибок составляло: в группе пациентов с ЧАЗН —  $35,6 \pm 3,2$  градуса; в группе контроля —  $6,2 \pm 1,1$  градуса; для хуже видящего глаза в группе пациентов с ЧАЗН —  $39,9 \pm 3,3$  градуса, в группе

контроля —  $7,5 \pm 1,3$  градуса. При сравнении показателей лучше видящего и хуже видящего глаза в обеих группах достоверной разницы не выявлено ( $p > 0,05$ ).

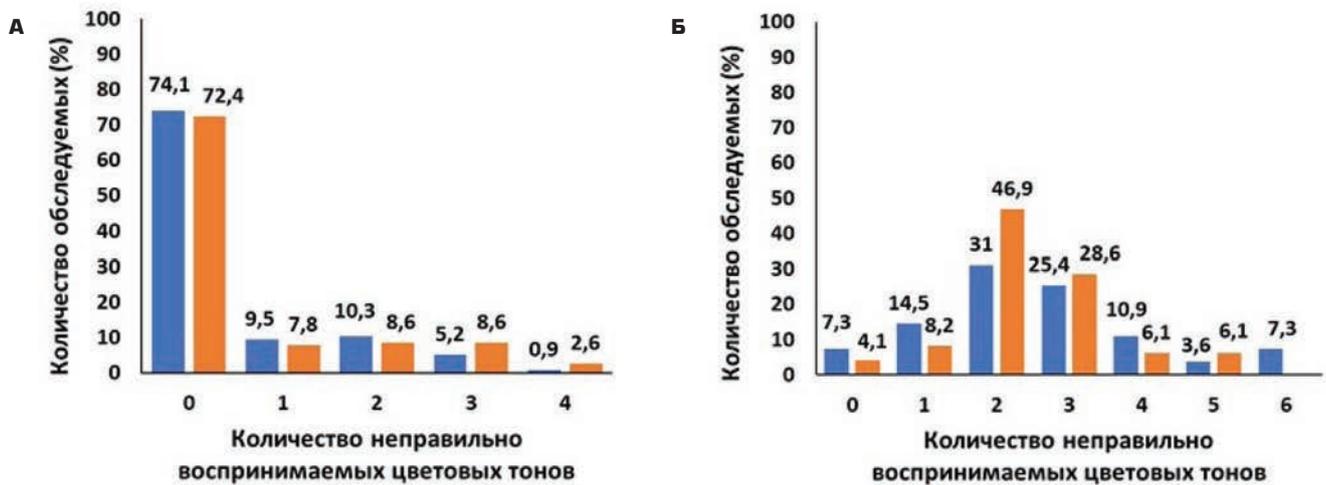
Определено нормальное восприятие всех цветовых тонов большинством обследуемых контрольной группы: 74,1 % для лучше видящего глаза и 72,4 % для хуже видящего глаза. В группе пациентов с ЧАЗН в большинстве случаев наблюдали нарушение восприятия двух-трех цветовых тонов: 56,4 % для лучше видящего глаза и 75,6 % для хуже видящего глаза (рис. 4).

Корреляционный анализ связи величины суммарной ошибки восприятия цветовых тонов с возрастом детей контрольной группы демонстрирует слабую отрицательную корреляцию при исследовании как лучше видящего глаза ( $r = -0,2$ ,  $p = 0,04$ ), так и хуже видящего глаза ( $r = -0,23$ ,  $p = 0,01$ ) (рис. 5).

При исследовании аналогичной связи между величиной суммарной ошибки восприятия цветовых тонов и возрастом пациентов с ЧАЗН не выявлено достоверной корреляции ( $r = 0,04$ ,  $p = 0,77$  для лучше видящего глаза и  $r = 0,01$ ,  $p = 0,93$  для хуже видящего глаза) (рис. 6).

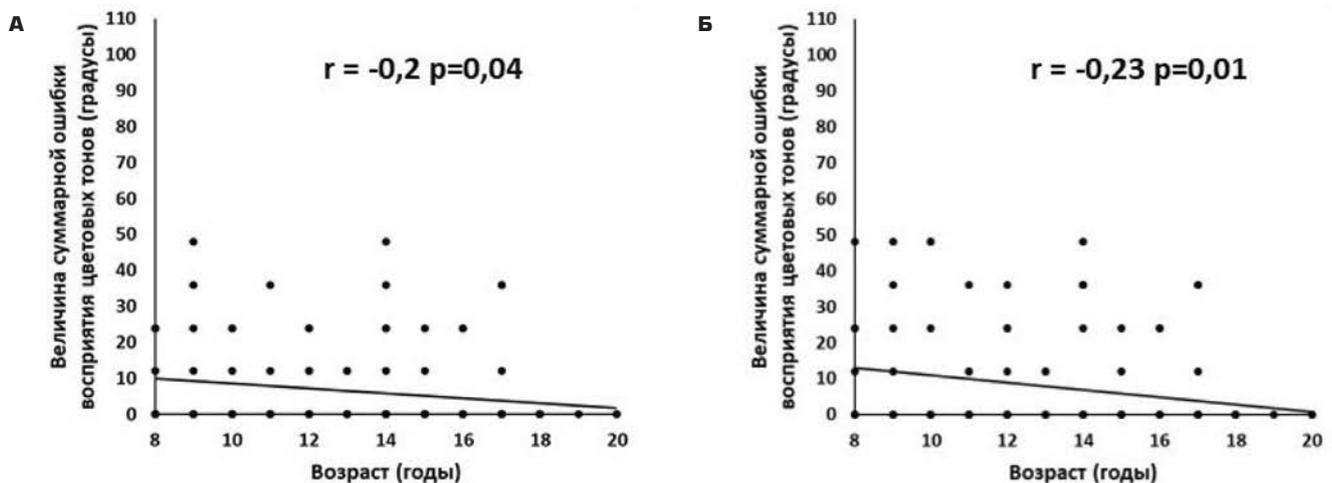
Корреляционный анализ связи величины суммарной ошибки восприятия цветовых тонов с остротой зрения у пациентов с ЧАЗН демонстрирует статистически достоверную отрицательную корреляцию ( $r = -0,53$ ,  $p < 0,001$  для лучше видящего глаза и  $r = -0,38$ ,  $p = 0,007$  для хуже видящего глаза) (рис. 7). В контрольной группе анализ связи выраженности нарушений цветовосприятия с остротой зрения не проводили из-за высокой остроты зрения на всех глазах.

В контрольной группе при исследовании лучше видящего глаза нарушения восприятия цветовых тонов



**Рис. 4.** Распределение обследуемых контрольной группы (А) и группы с ЧАЗН (Б) в зависимости от количества неправильно воспринимаемых цветовых тонов при исследовании лучше видящего глаза (данные обозначены синим цветом) и хуже видящего глаза (данные обозначены оранжевым цветом). По горизонтальной оси: 0 — нет ошибок в восприятии цветовых тонов, 1 — один неправильно воспринимаемый тон, 2 — два неправильно воспринимаемых тона, 3 — три неправильно воспринимаемых тона, 4 — четыре неправильно воспринимаемых тона, 5 — пять неправильно воспринимаемых тонов, 6 — шесть неправильно воспринимаемых тонов

**Fig. 4.** Distribution of the subjects of the control group (A) and the group with PAON (B) depending on the number of incorrectly perceived color tones in the study of the better-seeing eye (data indicated in blue) and the worse-seeing eye (data indicated in orange). On the horizontal axis: 0 — there are no errors in the perception of color tones, 1 — one incorrectly perceived tone, 2 — two incorrectly perceived tones, 3 — three incorrectly perceived tones, 4 — four incorrectly perceived tones, 5 — five incorrectly perceived tones, 6 — six incorrectly perceived tones



**Рис. 5.** Зависимость суммарной величины ошибок восприятия цветовых тонов от возраста обследуемых в контрольной группе при исследовании: А) лучше видящего глаза (количество глаз  $n = 116$ ), Б) хуже видящего глаза ( $n = 116$ )

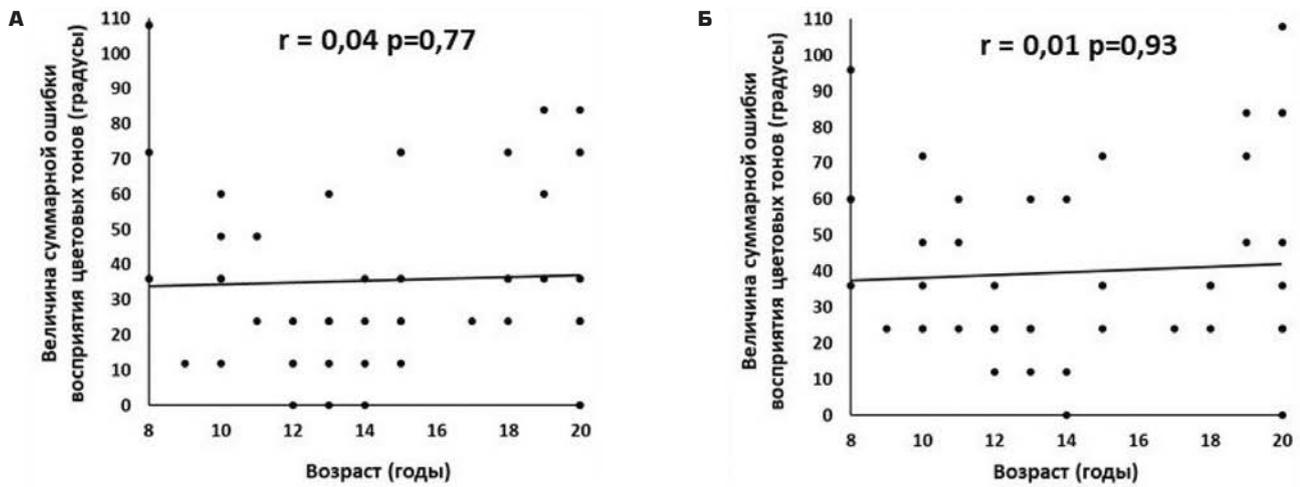
**Fig. 5.** The dependence of the total amount of errors in the perception of color tones on the age of subjects in the control group during the study: А) better seeing eye (number of eyes  $n = 116$ ), Б) worse seeing eye ( $n = 116$ )

довольно равномерно распределялись в отношении красного, зеленого, голубого, синего и пурпурного с небольшим преобладанием нарушений восприятия синего и зеленого тонов, восприятие желтого цвета не нарушалось. Похожую картину наблюдали при исследовании хуже видящего глаза — немного чаще встречались нарушения восприятия синего и зеленого тонов, ошибку в восприятии желтого тона выявили только у одного обследуемого (рис. 8).

В группе пациентов с ЧАЗН при исследовании как лучше видящего, так и хуже видящего глаз наблюдали

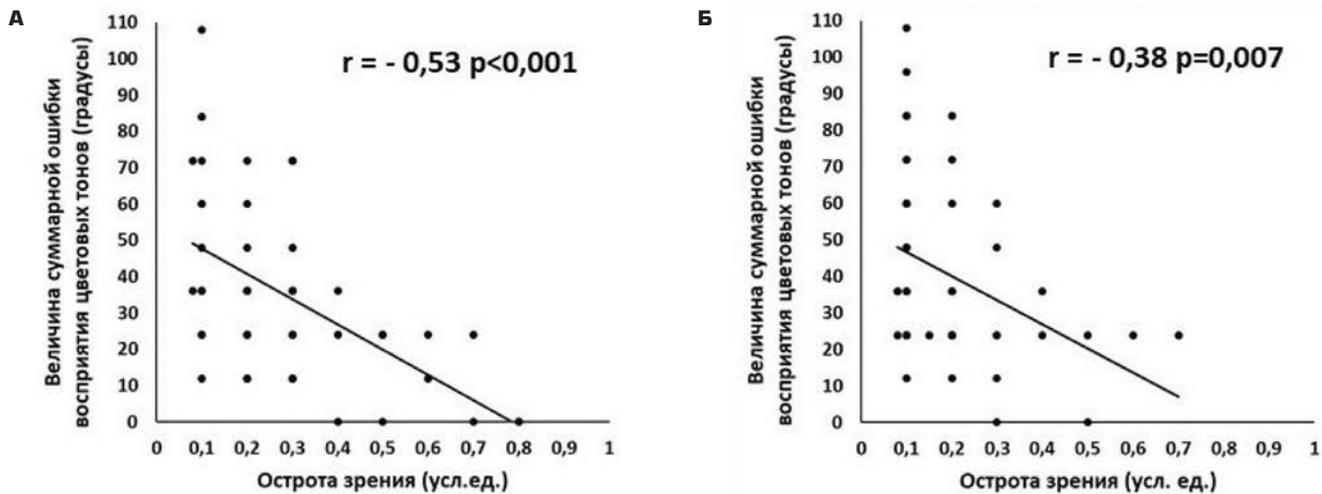
нарушения восприятия всех цветовых тонов с небольшим преобладанием нарушений восприятия красного, зеленого и синего (рис. 9).

Сравнение данных, полученных нашим способом оценки цветовосприятия и классическим тестом D-15, выявило совпадение результатов тестирования — 202 (87,1 %) глаз контрольной группы: в 39 случаях (16,8 % глаз) обоими способами были выявлены нарушения восприятия цветовых тонов, а в 163 случаях (70,2 % глаз) — их отсутствие. При этом в 19 случаях (8,2 % глаз)



**Рис. 6.** Зависимость суммарной величины ошибок восприятия цветовых тонов от возраста пациентов с ЧАЗН при исследовании: А) лучше видящего глаза (количество глаз  $n = 55$ ), Б) хуже видящего глаза ( $n = 49$ )

**Fig. 6.** The dependence of the total amount of errors in the perception of color tones on the age of patients with PAON during the study: А) better seeing eye (number of eyes  $n = 55$ ), Б) worse seeing eye ( $n = 49$ )



**Рис. 7.** Зависимость суммарной величины ошибок восприятия цветовых тонов от остроты зрения пациентов с ЧАЗН при исследовании: А) лучше видящего глаза (количество глаз  $n = 55$ ), Б) хуже видящего глаза ( $n = 49$ )

**Fig. 7.** Dependence of the total amount of errors in the perception of color tones on the visual acuity of patients with PAON during the study: А) better seeing eye (number of eyes  $n = 55$ ), Б) worse seeing eye ( $n = 49$ )

**Таблица 2.** Чувствительность и специфичность способа оценки цветового зрения в сравнении с чувствительностью и специфичностью теста Фарнsworth — Манселла D-15 в контрольной группе

**Table 2.** Sensitivity and specificity of our method of assessing color vision in comparison with the sensitivity and specificity of the Farnsworth — Mansell D-15 test in the control group

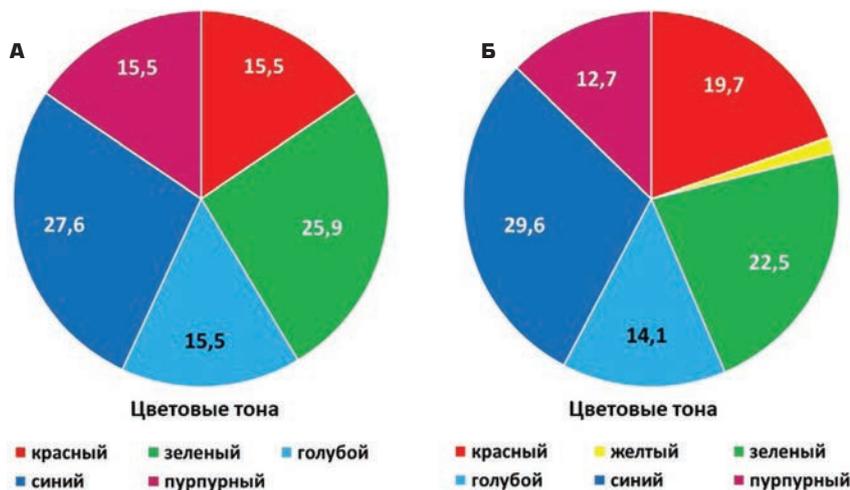
Тесты / Tests	Наш тест / Our test		
D-15 test	Совпадающие «+». 39 глаз / Coinciding «+». 39 eyes	Наш тест «+» D-15 test «-». 24 глаза / Our test «+» D-15 test «-». 24 eyes	Чувствительность D-15 test 61,9% / Sensitivity of D-15 test 61.9%
	Наш тест «-» D-15 test «+». 6 глаз / Our test «-» D-15 test «+». 6 eyes	Совпадающие «-». 163 глаза / Coinciding «-». 163 eyes	Специфичность D-15 test 96,4% / Specificity of D-15 test 96.4%
	Чувствительность нашего теста 86,7% / Sensitivity of our test 86.7%	Специфичность нашего теста 87,2% / Specificity of our test 87.2%	Общее число глаз 232 / Total number of eyes 232

Примечание: «+» — случаи выявленных нарушений цветового зрения, «-» — случаи невыявленных нарушений цветового зрения.  
Note: «+» — cases of detected color vision deficiency, «-» — cases of undetected color vision deficiency.

**Таблица 3.** Чувствительность и специфичность нашего способа оценки цветового зрения в сравнении с чувствительностью и специфичностью теста Фарнsworthа — Манселла D-15 в группе пациентов с ЧАЗН**Table 3.** Sensitivity and specificity of our method of assessing color vision in comparison with the sensitivity and specificity of the Farnsworth — Mansell D-15 test in the group of patients with PAON

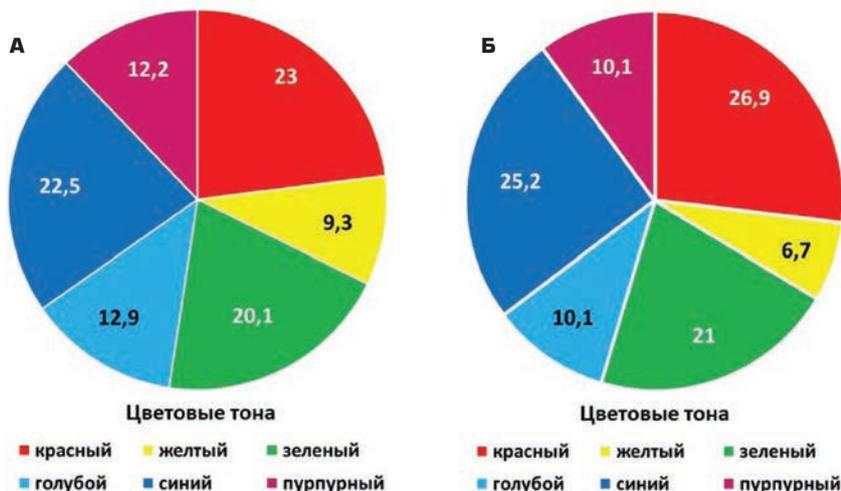
Тесты / Tests	Наш тест / Our test		
D-15 test	Совпадающие «+». 71 глаз / Coinciding «+». 71 eyes	Наш тест «+» D-15 test «-». 23 глаз / Our test «+» D-15 test «-». 23 eyes	Чувствительность D-15 test 75,5 % / Sensitivity of D-15 test 75.5 %
	Наш тест «-» D-15 test «+». 3 глаза / Our test «-» D-15 test «+». 3 eyes	Совпадающие «-». 7 глаз / Coinciding «-». 7 eyes	Специфичность D-15 test 70 % / Specificity of D-15 test 70 %
	Чувствительность нашего теста 95,9 % / Sensitivity of our test 95.9 %	Специфичность нашего теста 76,7 % / Specificity of our test 76.7 %	Общее число глаз 104 / Total number of eyes 104

Примечание: «+» — случаи выявленных нарушений цветового зрения, «-» — случаи невыявленных нарушений цветового зрения.  
Note: «+» — cases of detected color vision deficiency, «-» — cases of undetected color vision deficiency.



**Рис. 8.** Процентное соотношение количества ошибок восприятия цветовых тонов у обследуемых контрольной группы при исследовании: А) лучше видящего глаза (число глаз  $n = 116$ ), Б) хуже видящего глаза ( $n = 116$ )

**Fig. 8.** Percentage ratio of the number of errors in the perception of color tones in the subjects of the control group in the study: A) better seeing eye (number of eyes  $n = 116$ ), B) worse seeing eye ( $n = 116$ )



**Рис. 9.** Процентное соотношение количества ошибок восприятия цветовых тонов у пациентов с ЧАЗН при исследовании: А) лучше видящего глаза (число глаз  $n = 55$ ), Б) хуже видящего глаза ( $n = 49$ )

**Fig. 9.** Percentage ratio of the number of errors in the perception of color tones in patients with PAON in the study: A) better seeing eye (number of eyes  $n = 55$ ), B) worse seeing eye ( $n = 49$ )

нарушения цветовосприятия, выявленные обоими способами, представляли собой 1–2 ошибки на 12 градусов при определении цветовых тонов нашим способом и 1–2 ошибки ранжировки соседних фишек при выполнении теста D-15. Более значимые ошибки в восприятии цветовых тонов выявлялись обоими способами у 10 человек (7 мужчин и 3 женщины), что составляло 8,6 % от количества обследуемых.

Следует подчеркнуть, что согласно правилам оценки теста D-15, приведенным в других работах, допускается 1–2 ошибки при ранжировке соседних фишек нормальными трихроматами, а нарушения цветового зрения фиксируют в случае более двух ошибок в ранжировке и/или в случае, если «сдвиг» составляет более одной фишки [19, 20, 23]. При таком подходе наши результаты сопоставимы с данными других авторов, сообщающих о 2,2–8,3 % случаев выявления нарушений цветового зрения в группе контроля в отсутствие патологии глазного дна [10, 11, 17, 18, 23–27]. Кроме того, отмечают более высокую частоту выявления нарушений цветовосприятия среди мужчин, что также согласуется с нашими данными [23–25].

Чувствительность и специфичность нашего метода определяли в общей группе обследуемых детей по методу Байеса для условных вероятностей. Чувствительность вычисляли по формуле  $Ч = ИП / (ИП + ЛО) \times 100 \%$ , где Ч — чувствительность, ИП — истинно положительный результат, ЛО — ложноотрицательный результат. Специфичность вычисляли по формуле  $С = ИО / (ИО + ЛП) \times 100 \%$ ,

где С — специфичность, ИО — истинно отрицательный результат, ЛП — ложноположительный результат. Результаты анализа представлены в таблицах 2 и 3.

Анализируя представленные данные, следует отметить высокую чувствительность и специфичность нашего способа оценки цветовосприятия в сравнении с классическим тестом D-15 в обеих исследуемых группах. При этом чувствительность нашего способа (86,7 % в контрольной группе и 95,97 % в группе пациентов с ЧАЗН) превышала аналогичный показатель теста D-15 (61,9 % в контрольной группе и 75,5 % в группе пациентов с ЧАЗН) ( $p < 0,05$ ). Специфичность обоих способов оценки цветовосприятия была сопоставима в обеих группах ( $p > 0,05$ ).

Таким образом, преимуществами нашего теста являются доступность и простота использования, более короткое время исследования (1–2 минуты против 10 в тесте D-15) и возможность не только качественной, но и количественной оценки нарушений цветовосприятия у детей и взрослых пациентов с ЧАЗН.

## ВЫВОДЫ

1. В сравнении с классическим тестом Фарнsworth — Манселла D-15, разработанный нами способ при аналогичной специфичности демонстрирует более высокую чувствительность, позволяя эффективно диагностировать спектральные (тоновые) нарушения цветовосприятия при минимальной затратности времени (2 минуты)

на амбулаторном приеме и предоставить полноценную информацию о выраженности этих нарушений (суммарная ошибка восприятия цветовых тонов).

2. Результаты оценки цветового зрения с помощью разработанного нами способа демонстрируют 90 % частоту нарушений цветовосприятия всех тонов разной степени выраженности с небольшим преобладанием нарушений восприятия красного, зеленого и синего у пациентов с ЧАЗН.

3. Количественная оценка нарушений цветового зрения с помощью разработанного нами способа демонстрирует достоверно более высокие показатели суммарной ошибки восприятия цветовых тонов у пациентов с ЧАЗН ( $35,6 \pm 3,2$  градуса для лучше видящего глаза и  $39,9 \pm 3,3$  градуса для хуже видящего глаза) по сравнению с контрольной группой ( $6,2 \pm 1,1$  градуса для лучше видящего глаза и  $7,5 \pm 1,3$  градуса для хуже видящего глаза).

4. Выраженность нарушений цветовосприятия у пациентов с ЧАЗН не связана с возрастом, но обратно коррелирует с остротой зрения ( $r = -0,53$ ,  $p < 0,001$  для лучше видящего глаза и  $r = -0,38$ ,  $p = 0,007$  для хуже видящего глаза).

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Рычкова С.И. — участие в сборе и статистической обработке материала, подготовка иллюстраций и текста;  
Лихванцева В.Г. — обсуждение результатов, редактирование текста;  
Сандимиров Р.И. — участие в сборе и статистической обработке материала, подготовка иллюстраций, поиск литературы.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Федорова СН, Белова ОВ. Структура и причины врожденных атрофий зрительного нерва в Хабаровском крае. Вестник Оренбургского государственного университета. 2004;S(38):225–227. Fedorova SN, Belova OV. Structure and causes of congenital atrophy of the optic nerve in the Khabarovsk territory. Annals of Orenburg State University. 2004;S(38):225–227 (In Russ.).
- Закирова ГЗ, Миннегалиева АЗ. Хирургическое лечение атрофии зрительного нерва у детей: методики, эффективность. Тихоокеанский медицинский журнал. 2021;3(85):67–70. Zakirova GZ, Minnegaliev A. Surgical treatment of optic nerve atrophy in children: methods, effectiveness. Pacific Medical Journal. 2021;3(85):67–70 (In Russ.).
- Аветисов СЭ, Егоров ЕА, Мошетова ЛК. Офтальмология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2018. 944 с. Avetisov SE, Egorov EA, Moshetova LK. Ophthalmology: national guide. Moscow: GEOTAR-Media; 2018. 944 p. (In Russ.).
- Brodsky MC. Optic atrophy in children. Pediatric Neuro-Ophthalmology. N.Y.: Springer; 2016. 199 p.
- Turan KE, Sekeroglu HT, Koc I, Sanac AS. Bilateral optic disc pathologies as an accompanying feature of comitant strabismus in children. International Ophthalmology. 2018;38(2):425–428. doi: 10.1007/s10792-017-0474-x.
- Егорова ТС. Значение индивидуальной программы реабилитации (абилитации) для детей — инвалидов по зрению. Российский офтальмологический журнал. 2018;11(1):67–73. Egorova TS. The importance of an individual rehabilitation program (habilitation) for visually impaired children. Russian ophthalmological journal. 2018;11(1):67–73 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-1-67-73.
- Пономарчук АВ, Храменко НИ. Цветослабость при врожденных нарушениях цветоощущения различной степени тяжести. Офтальмологический журнал. 2018;4:39–43. Ponomarchuk AV, Khramenko NI. Color weakness in congenital color perception disorders of varying severity. Journal of Ophthalmology (Ukraine). 2018;4:39–43 (In Russ.).
- Аветисов СЭ, Кашченко ТП, Шамшинова АМ. Зрительные функции и их коррекция у детей: руководство для врачей. М.: Медицина; 2005. 872 с. Avetisov SE, Kashchenko TP, Shamshinova AM. Visual functions and their correction in children: A guide for doctors. Moscow: Medicine; 2005. 872 p. (In Russ.).
- Kuriki I. Emergence and separation of color categories: an NIRS study in prelingual infants and a k-means analysis on Japanese color-naming data. Current Opinion in Behavioral Sciences. 2019;30:21–27. doi: 10.1016/j.cobeha.2019.04.012.
- Tang T. ColourSpot, a novel gamified tablet-based test for accurate diagnosis of color vision deficiency in young children. Behavior Research Methods. 2021;1–13. doi: 10.3758/s13428-021-01622-5.
- Kerber KL. Testing Color Vision in Children. The Pediatric Eye Exam Quick Reference Guide.: IGI Global; 2022. 378 p. doi: 10.4018/978-1-7998-8044-8.ch002.
- Agarwal A. Colour vision standards: Past, present, and future. Indian Journal of Aerospace Medicine. 2020; 64(2):93–99. doi: 10.25259/IJASM\_44\_2020.
- Рабкин ЕБ. Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения. М.: Медицина; 1971. 72 с. Rabkin EB. Polychromatic tables for the study of color perception. Moscow: Medicine; 1971. 72 p. (In Russ.).
- Ishihara S. Tests for Colour Blindness. Tokyo, Japan: Kanehara Shupper Co. Ltd.; 1972.
- Ngente Z. Prevalence of color vision anomalies among dental professionals. Middle East African Journal of Ophthalmology. 2021;28(3):169–173. doi: 10.4103/meajo.meajo\_529\_20.
- Lombu F, Panggabean E. Building Systems Testing Method Using Ishihara Color Blindness. Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing. 2020;2(2):218–221.
- Neitz M., Neitz J. A new mass screening test for color-vision deficiencies in children. Color Research & Application. 2001;26(S1):S239–S249. doi: 10.1002/1520-6378(2001)26:1+<::aid-col51>3.0.co;2-1.
- Макаров ИА. Распространенность наследственных нарушений цветовосприятия. Офтальмология. 2020;17(3):414–421. Makarov IA. Prevalence of hereditary color perception disorders. Ophthalmology in Russia 2020;17(3):414–421 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2020-3-414-421.
- Farnsworth D. The Farnsworth-Munsell 100-Hue and Dichotomous Tests for Color Vision. Journal of the Optical Society of America. 1943;33(10):568–578. doi: 10.1364/JOSA.33.000568.
- Farnsworth D. The Farnsworth Dichotomous Test for Color Blindness, Panel D-15 Manual. New York: The Psychological Corporation; 1947.
- Доброхотова ТА, Брагина НН. Функциональные асимметрии человека. М.: Медицина; 1988. Dobrokhotova TA, Bragina NN. Human functional asymmetries. Moscow: Medicine; 1988 (In Russ.).
- Рычкова СИ, Лихванцева ВГ, Сандимиров РИ. Латеральные фенотипы у детей с офтальмопатологией. Офтальмология. 2022;19(3):617–623. Rychkova SI, Likhvantseva VG, Sandimirov RI. Lateral phenotypes in children with

- ophthalmopathology. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(3):617–623 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2022-3-617-623.
23. Shrestha RK, Shrestha GS. Assessment of color vision among school children: a comparative study between the Ishihara test and the farnsworth D-15 test. *J Nepal Med Assoc*. 2015;53(200):266–269.
24. Shrestha RK, Joshi MR, Shakya S, Ghising R. Color vision defects in school going children. *JNMA J Nepal Med Assoc*. 2010;50:264–266.
25. Kim HB, Lee SY, Choe JK. The incidence of congenital color deficiency among Koreans. *J Korean Med Sci*. 1989;4:117–120. doi: 10.3346/jkms.1989.4.3.117.
26. Zein ZA. Gene frequency and type of color blindness in Ethiopians. *Ethiop Med J*. 1990; 28:73–75.
27. Birch J. Pass rates for the Farnsworth D15 colour vision test. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2008;28(3):259–264. doi: 10.1111/j.1475-1313.2008.00566.x.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича»  
Российской академии наук  
ФГБУ Государственный научный центр «Федеральный медицинский  
биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального  
медико-биологического агентства  
Рычкова Светлана Игоревна  
доктор медицинских наук, врач-офтальмолог, ведущий научный сотрудник  
лаборатории «Зрительные системы»; доцент кафедры «Глазные болезни»  
Большой Каретный переулок, 19, Москва, 127051, Российская Федерация  
ул. Гамалеи, 15, Москва, 123098, Российская Федерация

ФПК «Академия постдипломного образования» ФГБУ «Федеральный  
научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи  
и медицинских технологий» Федерального медико-биологического агентства  
Лихванцева Вера Геннадьевна  
доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры «Офтальмология»  
Волоколамское шоссе, 91, Москва, 125310, Российская Федерация

ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский  
университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения  
Российской Федерации  
Сандимиров Роман Игоревич  
студент  
ул. Островитянова, 1, Москва, 117997, Российская Федерация

## ABOUT THE AUTHORS

Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of RAS  
A.I. Burnazyan Federal Biophysical Center of Federal Medical and Biological Agency  
Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center  
for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical  
and Biological Agency  
Rychkova Svetlana I.  
MD, ophthalmologist, leading researcher of the laboratory of the “Visual system”;  
lecturer of the Department of “Eye diseases”  
Bolshoy Karetny lane, 19, Moscow, 127051, Russian Federation  
Gamalei str., 15, Moscow, 123098, Russian Federation

Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center  
for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical  
and Biological Agency of Russia  
Likhvantseva Vera G.  
MD, Professor of the Department of ophthalmology  
Volokolamskoe highway, 91, Moscow, 125310, Russian Federation

N.I. Pirogov Russian National Research Medical University  
Sandimirov Roman I.  
student  
Ostrovityanova str., 1 Moscow, 117997, Russian Federation