

УДК 612.845.5:617.751.6-053.2

<https://doi.org/10.33791/2222-4408-2023-2-123-135>

Результаты количественной и качественной оценки цветового зрения у детей с амблиопией

С.И. Рычкова^{1,2,*}, В.Г. Лихванцева³, Р.И. Сандимиров⁴¹ ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» РАН, 127051, Российская Федерация, г. Москва, Большой Каретный пер., д. 19² Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Российская Федерация, г. Москва, ул. Гамалеи, д. 15³ Академия постдипломного образования ФБГУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства», 125371, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское ш., д. 91⁴ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, 117997, Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1

* e-mail: lana.rych@mail.ru

Резюме

Актуальность. Исследование цветового зрения у детей с амблиопией является одной из актуальных задач современной офтальмологии, однако лишь небольшое число публикаций посвящено данной проблематике. Это может быть связано с недостатками существующих методов, большинство из которых предназначены в основном для диагностики цветового зрения у взрослых и детей старшего возраста или требуют сложного оборудования. **Цель:** изучить возможности использования у детей с амблиопией разработанного собственного способа количественной и качественной оценки цветового зрения. **Материал и методы.** С начала сентября 2021 г. до начала июня 2022 г. наблюдали 81 ребенка школьного возраста, которые по итогам стандартного офтальмологического обследования были разделены на две группы: 1) 35 детей (70 глаз) с амблиопией (средний возраст $13,3 \pm 0,4$ года), 2) 46 детей (92 глаза) контрольной группы с нормальной остротой зрения (средний возраст $12,4 \pm 0,4$ года). Для исследования цветового зрения использовали классический дихотомический тест Фарнворта – Манселла D-15 (Farnsworth–Munsell Dichotomous D-15 Test) и разработанный собственный способ количественной и качественной оценки цветового зрения. **Результаты.** Среди детей с амблиопией только 28,6% были способны правильно воспринимать все цветовые тона, в отличие от детей контрольной группы, в которой не меньше половины успешно справились с определением всех используемых цветовых тонов при тестировании каждого глаза. Количественная оценка цветового зрения при помощи разработанного нами способа у детей с амблиопией показала достоверно более высокие средние значения суммарной ошибки восприятия цветовых тонов для лучше видящего глаза ($M = 15,4 \pm 2,1^\circ$) по сравнению с хуже видящим глазом ($M = 30,5 \pm 3,3^\circ$) и достоверно более высокие ($p < 0,05$) аналогичные значения у детей контрольной группы ($M = 10,2 \pm 2^\circ$ для доминантного глаза и $M = 14,3 \pm 2,7^\circ$ для недоминантного глаза). Выраженность нарушений цветового зрения у детей с амблиопией имеет достоверную прямую зависимость от длительности заболевания и достоверную обратную зависимость от остроты зрения ($r = -0,47$, $p < 0,001$). Нарушения цветового зрения, выявляемые у детей контрольной группы, чаще всего касаются восприятия красного, зеленого и синего цветовых тонов. У детей с амблиопией при исследовании лучше видящего глаза чаще выявляются нарушения восприятия зеленого и синего тонов, а при исследовании хуже видящего глаза – красного, зеленого, синего и пурпурного тонов. **Заключение.** Разработанный нами способ позволяет эффективно проводить количественную и качественную оценку цветового зрения у детей с амблиопией.

Ключевые слова: амблиопия, цветовое зрение, методы диагностики цветового зрения**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**Финансирование:** авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.**Для цитирования:** Рычкова С.И., Лихванцева В.Г., Сандимиров Р.И. Результаты количественной и качественной оценки цветового зрения у детей с амблиопией. The EYE ГЛАЗ. 2023;25(2):123–135. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2023-2-123-135>

Поступила: 25.11.2022

Принята после доработки: 18.04.2023

Принята к публикации: 26.04.2023

Опубликована: 30.06.2023

Results of quantitative and qualitative assessment of colour vision in children with amblyopia

Svetlana I. Rychkova^{1,2,*}, Vera G. Likhvantseva³, Roman I. Sandimirov⁴

¹ Kharkevich Institute for Information Transmission Problems, 19, Bolshoy Karetny Lane, Moscow, 127051, Russian Federation

² Medico-biological University of Innovation and Continuing Education of Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 15, Gamalei Str., Moscow, 123098, Russian Federation

³ Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency of Russia, 91, Volokolamskoye Highway, Moscow, 125371, Russian Federation

⁴ Pirogov Russian National Research Medical University, 1, Ostrovityanova Str., Moscow, 117997, Russian Federation

* e-mail: lana.rych@mail.ru

Abstract

Background. A study of colour vision in patients with various ophthalmopathologies is one of the urgent tasks of modern ophthalmology. Only a small number of publications are devoted to results of the study of colour vision in children with amblyopia. This may be due to disadvantages of the currently existing methods of diagnosing colour vision, most of which are designed mainly for diagnosing colour vision in adults and teenagers or require complex equipment. **Purpose:** to study possibilities of using the developed own method of quantitative and qualitative assessment of colour vision in children with amblyopia. **Material and methods.** 81 school-age children were observed from the beginning of September 2021 to the beginning of June 2022. According to the results of standard ophthalmological examination they were divided into two groups: 1) 35 children (70 eyes) in the group with amblyopia, 2) 46 children (92 eyes) in the control group with normal visual acuity. The classic Farnsworth–Munsell Dichotomous D-15 test and our developed method of quantitative and qualitative assessment of colour vision were used to study colour vision in all children. **Results.** In the group of children with amblyopia, only 28.6% children with amblyopia in the study of the best-seeing eye and 14.3% in the study of the worst-seeing eye were able to perceive all colour tones correctly. Unlike in the control group, at least half of the children successfully coped with determining all the using colour tones testing each eye. Quantitative assessment of colour vision conducted using our developed method in the children with amblyopia showed significantly higher average values of the total error of perception of colour tones for the best-seeing eye ($M = 15.4 \pm 2.1^\circ$) compared with the worst-seeing eye ($M = 30.5 \pm 3.3^\circ$) and significantly higher ($p < 0.05$) similar values compared to the children in the control group. The severity of colour vision disorders in the children with amblyopia has a significant direct dependence on the duration of the disease and a significant inverse dependence on visual acuity ($r = -0.47, p < 0.001$). Most often, colour vision disorders detected in the children in the control group relate to the perception of red, green and blue color tones when examining both eyes. In the children with amblyopia the perception of green and blue tones is more often detected when examining the best-seeing eye and the perception of red, green, blue and purple tones is detected when examining the worst-seeing eye. **Conclusion.** Our developed method makes possible to effectively carry out quantitative and qualitative assessment of colour vision in children with amblyopia.

Keywords: amblyopia, colour vision, diagnostic methods of colour vision

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

For citation: Rychkova S.I., Likhvantseva V.G., Sandimirov R.I. Results of quantitative and qualitative assessment of colour vision in children with amblyopia. The EYE GLAZ. 2023;25(2):123–135. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2023-2-123-135>

Received: 25.11.2022

Accepted: 18.04.2023

Accepted for publication: 26.04.2023

Published: 30.06.2023

Введение

Современные представления об этиопатогенезе амблиопии основаны на наблюдениях, подтверждающих решающее влияние зрительного опыта ребенка в первое десятилетие его жизни на формирование всех зрительных функций. Амблиогенные факторы (помутнения оптических сред, некорригированные аномалии рефракции, косоглазие и т.д.) нарушают процессы постнатального развития зрительной коры и приводят к патологическим изменениям механизма анализа зрительной информации, сохраняющимся даже после устранения амблиоген-

ного фактора [1, 2]. При этом все виды амблиопии (дисбинокулярная, рефракционная, анизометропическая, обскурационная, истерическая) представляют собой целый комплекс зрительных, аккомодационных, глазодвигательных и проприоцептивных нарушений, выраженность которых может индивидуально варьировать [1–3].

Различия в степени ухудшения разных зрительных функций могут объясняться многоканальной теорией зрительного восприятия, которая учитывает существование двух основных каналов: 1) парвоцеллюлярного (Р-клеточного) канала, обеспечивающего проведение и анализ информа-

ции о размере и форме объектов, их цвете, точной пространственной локализации; 2) магноцеллюлярного (М-клеточного), обеспечивающего прежде всего восприятие движения крупных объектов в поле зрения. Дальнейшая дифференциация основных каналов на еще более специализированные происходит на уровне зрительной коры. При этом нарушения цветовосприятия у пациентов с амблиопией могут быть обусловлены поражением парвоцеллюлярного канала. Согласно результатам некоторых исследований, у пациентов с дисбинокулярной амблиопией высокой степени могут выявляться нарушения чувствительности к красным и зеленым стимулам в центральной и парацентральной зонах [1–3].

Несмотря на то что исследование цветового зрения при различной офтальмопатологии является одной из актуальных задач современной офтальмологии, только небольшое число публикаций посвящено результатам исследования цветового зрения у детей с амблиопией [4–7]. Это может быть связано с особенностями существующих в настоящее время методов диагностики цветового зрения. Часть из них (например, табличные тесты, некоторые компьютерные программы) являются простыми в использовании, но дают возможность только качественной оценки наличия/отсутствия нарушений цветового зрения. Другие (например, аномалоскопия, цветовая кампиметрия, регистрация электроретинографии (ЭРГ) и зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) на цветовые стимулы) предназначены в основном для диагностики цветового зрения у взрослых и детей старшего возраста или требуют специального оборудования [8–17].

Одним из наиболее известных и используемых методов диагностики цветового зрения является ранжировочный 100-оттеночный тест Фарнsworth – Манселла (Farnsworth – Munsell 100 hue test) и его сокращенный вариант – дихотомический тест Фарнsworth – Манселла D-15 (Farnsworth – Munsell Dichotomous D-15 Test) [8–19]. Эти тесты представляют собой наборы из цветных фишек с поверхностями (дисками), цветовой тон которых последовательно меняется. 100-оттеночный тест содержит четыре отдельные панели (ряда) цветовых оттенков, каждая из которых включает 25 различных вариантов каждого цвета. При выполнении теста пациент должен расставить в каждой панели фишки в порядке изменения оттенка. Окончательное расположение цветных фишек отражает способность пациента воспринимать различия в цветовых оттенках. Нарушения цветовосприятия оценивают по двум критериям: 1) количество случаев, когда фишка стояла не на своем месте, 2) величина смещения фишки от правильного положения.

Недостатками 100-оттеночного теста Фарнsworth – Манселла являются трудоемкость для пациента (задача правильно расставить 100 фишек) и относительно большая длительность обследования (дольше 10 минут). Это затрудняет его использование при массовых обследованиях, у детей

и у пожилых пациентов. В связи с этим был разработан сокращенный вариант – 15-оттеночный панельный тест Фарнsworth – Манселла (качественный), состоящий из контрольной голубой фишки и 15 съемных фишек с постепенным изменением цветовых тонов. Данный тест менее чувствительный по сравнению со 100-оттеночным. Он позволяет разделить обследуемых на две группы: 1) пациенты с тяжелыми и умеренными нарушениями цветового зрения, 2) обследуемые с нормальным цветовосприятием и его легкими нарушениями. Поэтому тест был назван дихотомическим. 15-оттеночный тест Фарнsworth – Манселла является более быстрым и удобным для скрининговых исследований, чем 100-оттеночный, в то же время он недостаточно информативный в определении характера и выраженности нарушений цветового зрения.

В связи с этим актуальность проблемы разработки простых и доступных способов эффективной диагностики цветового зрения у детей с офтальмопатологией, в том числе амблиопией, не вызывает сомнений.

Цель работы – изучить возможности использования у детей с амблиопией разработанного собственного способа количественной и качественной оценки цветового зрения.

Материалы и методы

С начала сентября 2021 г. до начала июня 2022 г. под наблюдением находился 81 ребенок школьного возраста. По итогам стандартного офтальмологического обследования дети были разделены на две группы: 1) 35 детей (70 глаз) с амблиопией, 2) 46 детей (92 глаза) контрольной группы с остротой зрения 0,9–1,0 (корригированной при наличии аметропии и некорригированной при эмметропической рефракции). Среди детей с амблиопией у девяти детей она была дисбинокулярной, у 21 ребенка – рефракционной и у пяти детей – обскурационной (трое детей с оперированной врожденной катарактой и двое – с врожденным птозом). Двусторонняя амблиопия выявлялась в 30 случаях и односторонняя – у пяти детей. Дополнительные клинические характеристики групп обследованных детей представлены в таблице (табл. 1).

Разница в остроте зрения лучше видящего и хуже видящего глаза у детей контрольной группы была достоверной. У детей с амблиопией острота зрения лучше видящего глаза была достоверно выше, чем хуже видящего ($p < 0,05$). По сравнению с детьми контрольной группы острота зрения как лучше, так и хуже видящего глаза у детей с амблиопией была достоверно ниже ($p < 0,01$).

Для исследования цветового зрения у всех детей использовали классический дихотомический тест Фарнsworth – Манселла D-15 и разработанный собственный способ количественной и качественной оценки цветового зрения.

Дихотомический тест Фарнsworth – Манселла D-15 состоит из контрольной голубой фишки и 15 съемных фишек, характеризующихся посте-

Таблица 1. Клинические характеристики обследованных групп детей

Table 1. Clinical characteristics of the examined groups of children

Клинические характеристики Clinical characteristics		Группа детей с амблиопией (n = 35) Group of children with amblyopia (n = 35)	Контрольная группа детей (n = 46) Control group of children (n = 46)
Возраст (годы $M \pm m$) Age (years $M \pm m$)		13,3 \pm 0,4	12,4 \pm 0,4
Количество мальчиков/девочек (%) Number of boys/girls (%)		22/13 (62,9/37,1)	24/22 (52,2/47,8)
Распределение детей в зависимости от вида рефракции, количество детей (%) Distribution of the children depending on the type of refraction, number of children (%)	Эмметропическая Emmetropic	–	22 (47,8)
	Миопическая Myopic	7 (20)	18 (39,2)
	Гиперметропическая Hyperopic	9 (25,7)	6 (13)
	Смешанный астигматизм Mixed astigmatism	16 (45,7)	–
	Артифакция Pseudophakia	3 (8,6)	–
Острота зрения скорректированная, $M \pm m$, усл. ед. Corrected visual acuity, $M \pm m$, conventional units	лучше видящего глаза The best-seeing eye	0,75 \pm 0,03	0,99 \pm 0,004
	хуже видящего глаза The worst-seeing eye	0,59 \pm 0,03	0,98 \pm 0,005



Рис. 1. Дихотомический тест Фарнsworthа – Манселла D-15

Fig. 1. Farnsworth – Munsell Dichotomous D-15 Test

пенным изменением цветовых тонов верхней поверхности (рис. 1).

Перед проведением теста съемные фишки перемешивали, и задачей обследуемого ребенка было расставить их в ряд (ранжировать) по мере изменения цветового оттенка, начиная от контрольной фишки. Исследование проводили при одинаковом для всех обследуемых освещении 700 лк для каждого глаза отдельно (порядок тестирования правого/левого глаза меняли в случайном порядке), при наличии аметропии – в очках или контактных линзах. Наличие нарушений цветового зрения пациента отмечали при неправильном порядке ранжирования им фишек в ряду. Время выполнения задания не ограничивали, обычно оно составляло 2–3 минуты.

Разработанный нами способ количественной и качественной оценки цветового зрения (подача заявка на изобретение «Способ оценки цветового зрения» № 2022129440 от 14.11.2022 г.) предусматривает предъявление обследуемому пациенту на экране монитора компьютера изображения, включающего 30 контрольных (неподвижных, расположенных по кругу) и 6 тестовых (перемеща-

емых при помощи мыши) 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).

Исследование проводили для каждого глаза отдельно (порядок тестирования правого/левого глаза меняли в случайном порядке), при наличии аметропии в условиях оптимальной оптической коррекции (очках или контактных линзах), при одинаковом освещении 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. Обследуемого ребенка просили поставить каждый из тестовых кружков рядом с тем контрольным, с которым он воспринимался одинаковым по цветовому тону. Время выполнения теста не ограничивали, но обычно обследуемому ребенку было достаточно 1–2 минут.

При оценке состояния цветового зрения учитывали: 1) количество ошибок в сопоставлении контрольного и тестового кружков; 2) тон, в определении которого ошибается обследуемый; 3) величину смещения (в градусах) тестового кружка от соответствующего ему контрольного. Если ребенок правильно устанавливал все тестовые кружки рядом с соответствующими им контрольными, отмечали нормальную трихромазию. Если ребенок помещал тестовый кружок рядом с несоответствующим контрольным кружком, отмечали нарушение восприятия данного цветового тона, а его выраженность оценивали в градусах (рис. 3).

Результаты анализировали отдельно для лучше и хуже видящего глаза у детей с амблиопией и для доминантного и недоминантного глаза у детей контрольной группы. Доминантность глаза определяли, используя классический тест «карточка с отверстием» [20, 21].

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

Результаты

Анализируя результаты исследования цветовосприятия при помощи разработанного нами способа, нужно отметить, что в контрольной группе детей сравнение средних значений суммарной ошибки восприятия цветовых тонов при исследовании доминантного глаза ($M = 10,2 \pm 2^\circ$) и недоминантного ($M = 14,3 \pm 2,7^\circ$) показало отсутствие достоверной разницы ($p = 0,46$). Между тем, при сравнении распределения детей в зависимости от количества неправильно воспринимаемых цветовых тонов обращает на себя внимание отсутствие неправильного восприятия сразу пяти цветовых тонов и меньшее количество случаев неправильного восприятия трех и четырех тонов

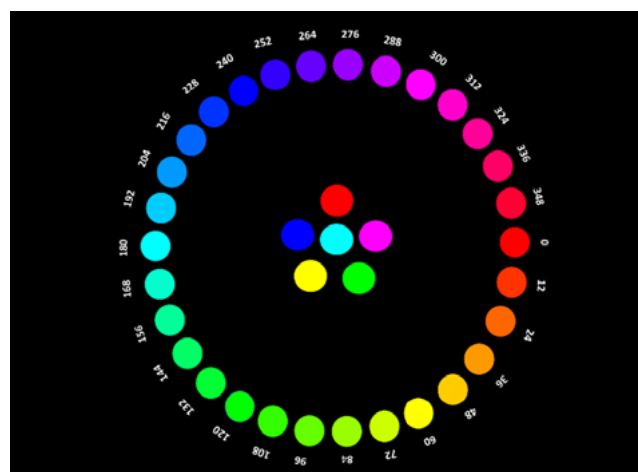


Рис. 2. Разработанный способ количественной и качественной оценки цветового зрения

Fig. 2. Our developed method of quantitative and qualitative assessment of colour vision

при исследовании доминантного глаза по сравнению с недоминантным. Нужно отметить, что 25 (54,3%) детей (14 девочек и 11 мальчиков) при исследовании доминантного глаза и 24 (52,2%) ребенка (13 девочек и 11 мальчиков) при исследовании недоминантного глаза не делали ошибок ни с одним из цветовых тонов (рис. 4).

Корреляционный анализ зависимости величины суммарной ошибки восприятия цветовых тонов от возраста детей контрольной группы демонстрирует слабую отрицательную корреляцию, не являющуюся статистически достоверной при исследовании как доминантного глаза ($r = -0,26, p = 0,08$), так и недоминантного ($r = -0,27, p = 0,07$) (рис. 5).

Среди ошибочно воспринимаемых тонов преобладали красный, зеленый и синий при исследовании как доминантного, так и недоминантного глаза (рис. 6).

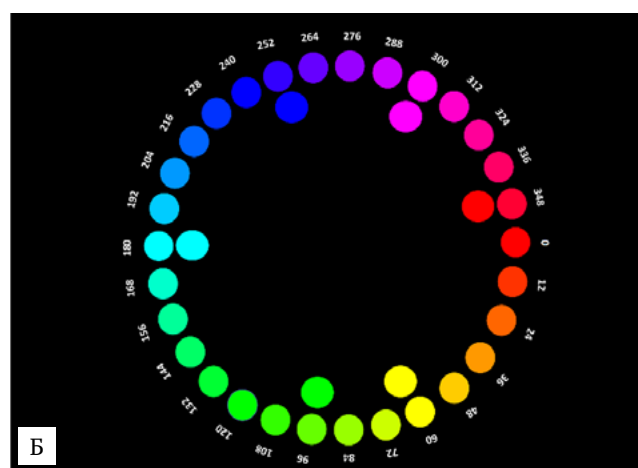
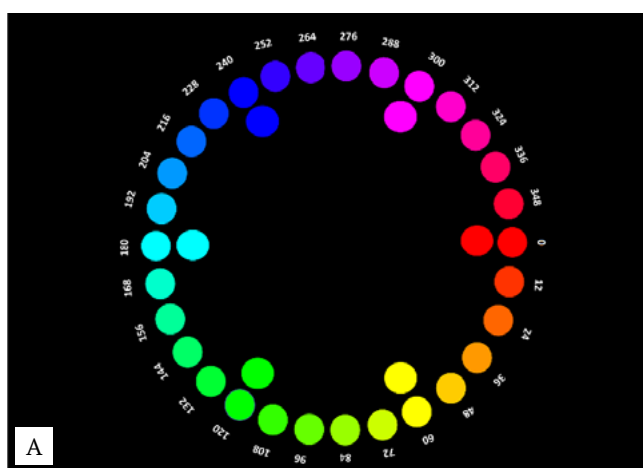
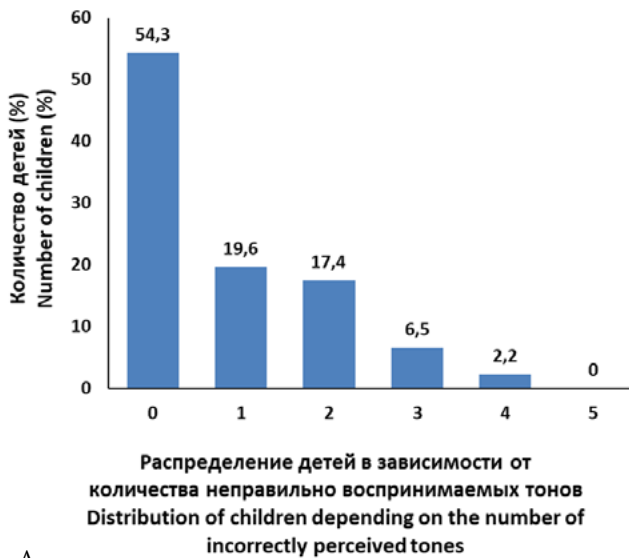
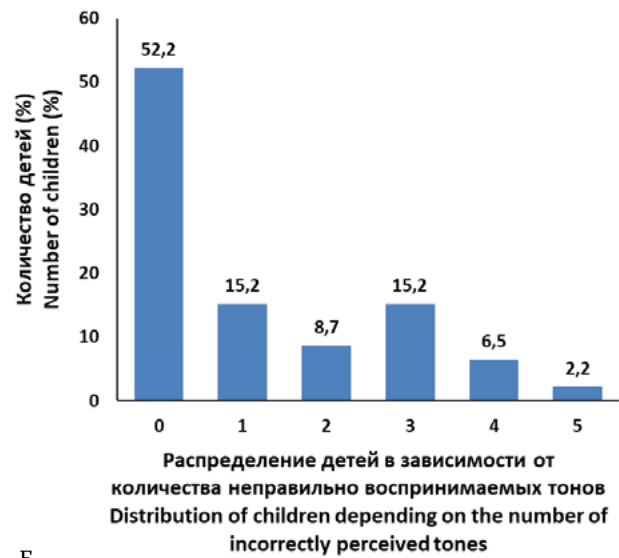


Рис. 3. Примеры выполнения обследуемыми детьми разработанного нами теста: А – все тестовые кружки правильно сопоставлены с соответствующими им контрольными кружками – нормальная трихромазия; Б – зеленый тестовый кружок смещен на 24° в сторону желто-зеленых оттенков, синий – на 12° в сторону фиолетовых 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 examined children: А – all the test circles are correctly compared with their corresponding control circles (normal trichromasia); Б – the green test circle is shifted by 24° towards the yellow-green shades, the blue one – by 12° towards the purple shades, the red one – by 12° in the side of the purple shades, the total error of perception of colour tones is 48° in this way



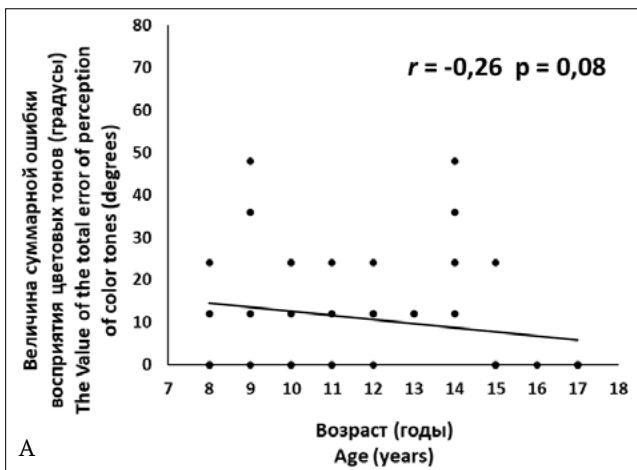
А



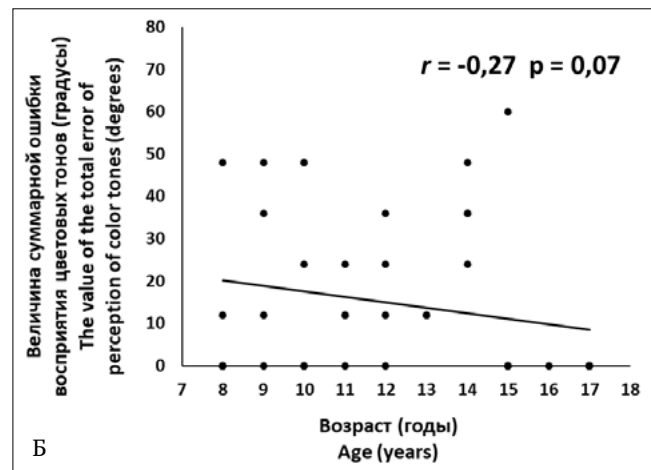
Б

Рис. 4. Распределение детей контрольной группы в зависимости от количества неправильно воспринимаемых цветных тонов при исследовании: А – доминантного глаза (количество глаз, $n = 46$), Б – недоминантного глаза (количество глаз, $n = 46$)

Fig. 4. The distribution of the control group children depending on the number of incorrectly perceived colour tones in the study: А – dominant eye (number of eyes, $n = 46$), Б – non-dominant eye (number of eyes, $n = 46$)



А



Б

Рис. 5. Зависимость суммарной величины ошибок восприятия цветных тонов от возраста детей контрольной группы при исследовании: А – доминантного глаза (количество глаз, $n = 46$), Б – недоминантного глаза (количество глаз, $n = 46$)

Fig. 5. The dependence of the total amount of errors in the perception of colour tones on the age of children in the control group: А – dominant eye (number of eyes, $n = 46$), Б – non-dominant eye (number of eyes, $n = 46$)

Сравнение данных, полученных при помощи разработанного нами способа оценки состояния цветовосприятия и при использовании классического дихотомического теста Фарнsworth – Манселла D-15, показало, что в 35 случаях (76,1%) результаты совпадали: у 24 детей наблюдали правильное восприятие всех цветных тонов, у 15 детей выявляли нарушения цветовосприятия при использовании обоих способов оценки как для доминантного, так и для недоминантного глаза. В остальных случаях наблюдали расхождение результатов по классическому и нашему способам оценки: у четырех детей незначительные нарушения цветовосприятия (1–2 смещения тестовых кружков на 12°) выявлялись нашим способом и не обнаруживались при по-

мощи теста Фарнsworth – Манселла D-15. Трое детей, наоборот, хорошо справлялись с нашим тестом, но имели небольшие погрешности ранжировки (1–2 раза ошибались на одну фишку) при выполнении классического теста.

Приводя данное сравнение результатов использования разработанного нами способа оценки цветового зрения и теста Фарнsworth – Манселла D-15, мы учитывали даже незначительные ошибки. Между тем, согласно обычным правилам оценки результатов теста Фарнsworth – Манселла D-15, представленным в публикациях других авторов, допускается, что обследуемый с нормальной трихромазией может 1–2 раза ошибаться при ранжировке соседних фишек. Нарушения цветового зрения,

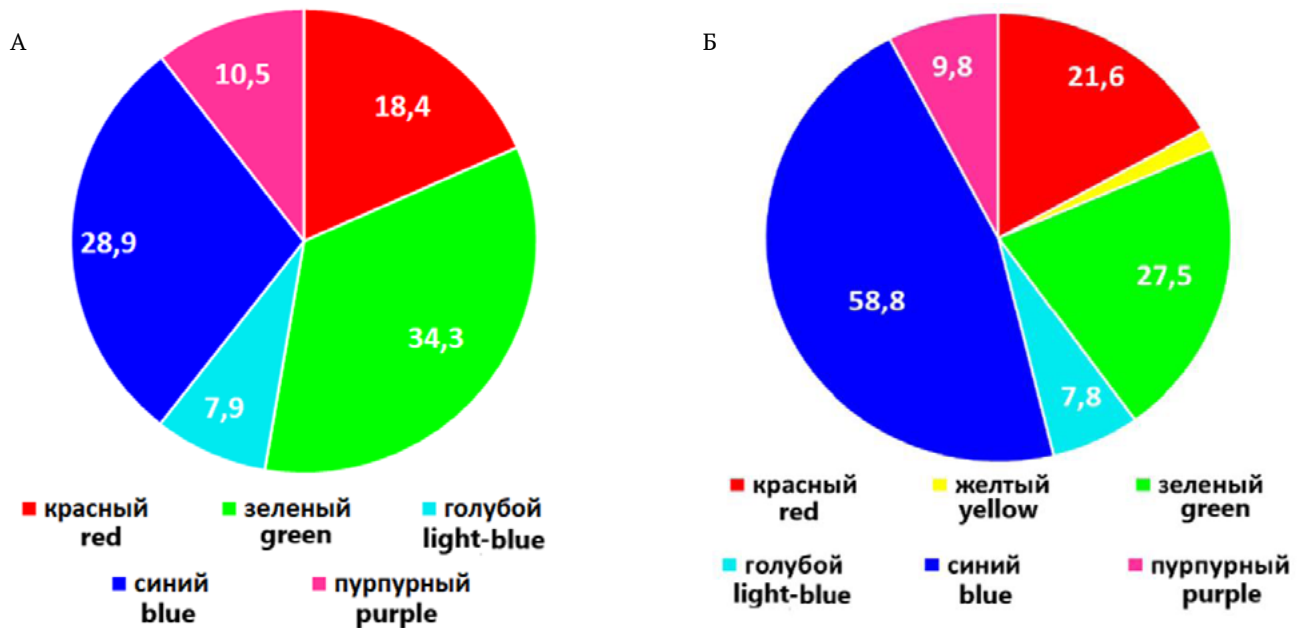


Рис. 6. Процентное соотношение количества ошибок восприятия цветовых тонов у детей контрольной группы при исследовании: А – доминантного глаза (количество глаз, $n = 46$), Б – недоминантного глаза (количество глаз, $n = 46$)
Fig. 6. The percentage ratio of the number of errors in the perception of colour tones in the control group: А – dominant eye (number of eyes, $n = 46$), Б – non-dominant eye (number of eyes, $n = 46$)

как правило, отмечают, если обследуемый ошибается в ранжировке более двух раз и/или «сдвиг» составляет более одной фишки [18, 19, 22]. Основанное на таком подходе сравнение результатов оценки цветового зрения при помощи теста Фарнsworth – Манселла D-15 и классических полихроматических тестовых таблиц S. Ishihara показало их сопоставимость [22]. Поэтому, для того чтобы иметь возможность сравнить результаты, полученные при помощи разработанного нами способа оценки цветового зрения, с результатами, полученными в других исследованиях, мы допустили возможность 1–2 ошибок не более 12° при определении цветовых тонов обследуемыми с нормальной трихромазией.

При таком подходе количество случаев нарушения цветового зрения составило по результатам использования нашего теста 4 (8,7%) случая для доминантного глаза и 11 (23,9%) для недоминантного. При использовании теста Фарнsworth – Манселла D-15 нарушения цветового зрения отмечали в 3 (6,5%) случаях для доминантного глаза и в 7 (15,2%) для недоминантного. Таким образом, при исследовании доминантного глаза при помощи обоих тестов мы получили данные, сопоставимые с результатами других работ – от 2,2 до 8,3% случаев выявления нарушений цветового зрения по сообщениям разных авторов [9, 10, 16, 17, 23–26]. Для недоминантного глаза количество выявленных нарушений было несколько больше. Это может быть связано с тем, что в других исследованиях диагностика цветового зрения у обследуемых с нормальной остротой зрения обоих глаз проводилась чаще в бинокулярных условиях наблюдения и результаты не анализировались отдельно для доминантного и недоминантного глаза. Кроме

того, разработанный нами способ дает возможность оценить правильность восприятия шести цветовых тонов, а не только трех основных, как, например, в большинстве табличных тестов. Соответственно, при использовании нашего способа больше и вероятность выявленных нарушений.

Анализ результатов количественной оценки цветового зрения при помощи разработанного нами способа в *группе детей с амблиопией* показал, что при сравнении средних значений суммарной ошибки восприятия цветовых тонов при исследовании лучше видящего глаза ($M = 15,4 \pm 2,1^\circ$) и хуже видящего глаза ($M = 30,5 \pm 3,3^\circ$) разница была статистически достоверной ($p = 0,001$). Сопоставление средних значений суммарной ошибки восприятия цветовых тонов при исследовании доминантного глаза у детей контрольной группы и лучше видящего глаза детей с амблиопией, а также недоминантного глаза детей контроля и хуже видящего глаза детей с амблиопией выявило достоверно более высокие показатели у детей с амблиопией по сравнению с детьми контрольной группы ($p = 0,37$ и $p < 0,001$ соответственно).

При анализе распределения детей с амблиопией в зависимости от количества неправильно воспринимаемых цветовых тонов нужно отметить, что только 10 детей (четыре девочки и шесть мальчиков) при исследовании лучше видящего глаза и пять детей (две девочки и три мальчика) при исследовании хуже видящего глаза правильно воспринимали все используемые цветовые тона. Таким образом, детей с амблиопией, правильно воспринимавших цветовые тона, было значительно меньше по сравнению с контрольной группой (28,6% для лучше ви-

дящего глаза у детей с амблиопией против 54,3% для доминантного глаза у детей контроля и 14,3% для хуже видящего глаза у детей с амблиопией против 52,2% для недоминантного глаза у детей контроля). При этом для хуже видящего глаза этот показатель был в два раза меньше, чем для лучше видящего (14,3 против 28,6% соответственно). Также нужно отметить, что при исследовании лучше видящего глаза, в отличие от хуже видящего, не было выявлено случаев неправильного восприятия сразу 5 цветовых тонов, а количество случаев неправильного восприятия трех и четырех тонов было меньше, чем при исследовании хуже видящего глаза (5,7 и 2,9% против 14,3 и 5,7%). Чаще всего у пациентов наблюдали ошибки восприятия двух цветовых тонов при исследовании

довании как лучше видящего (37,1%), так и хуже видящего глаза (40%) (рис. 7).

Корреляционный анализ зависимости величины суммарной ошибки восприятия цветовых тонов от возраста детей с амблиопией демонстрирует слабую положительную корреляцию, не являющуюся статистически достоверной при исследовании как лучше видящего ($r = 0,33, p = 0,05$), так и хуже видящего глаза ($r = 0,29, p = 0,09$) (рис. 8).

В то же время корреляционный анализ зависимости величины суммарной ошибки восприятия цветовых тонов от длительности заболевания выявил статистически достоверную связь – слабую для лучше видящего глаза ($r = 0,49, p = 0,03$) и среднюю для хуже видящего глаза ($r = 0,58, p < 0,001$) (рис. 9).

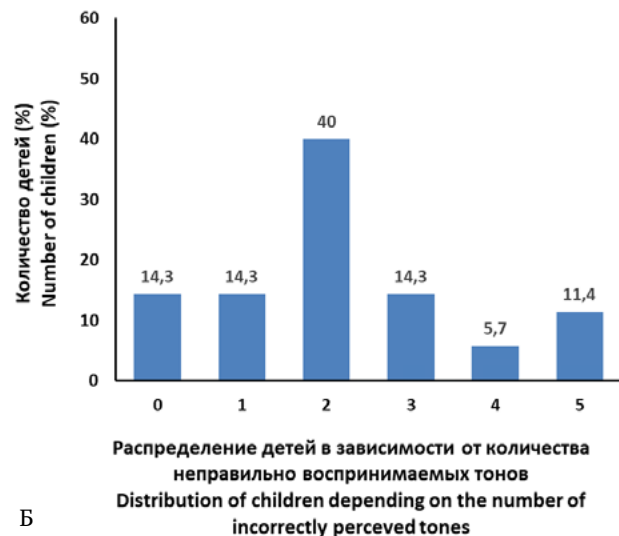
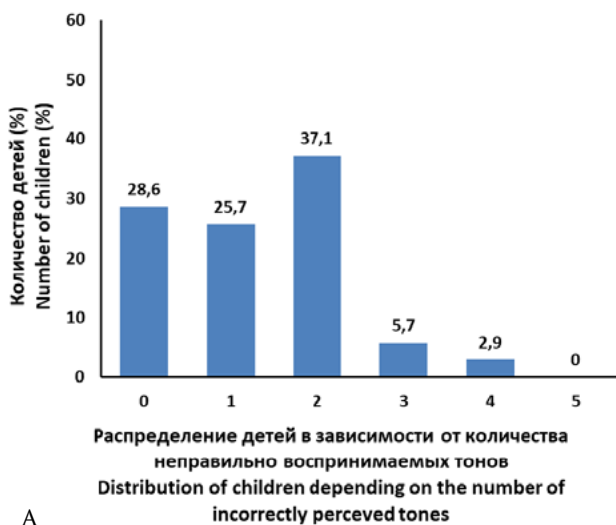


Рис. 7. Распределение детей с амблиопией в зависимости от количества неправильно воспринимаемых цветовых тонов при исследовании: А – лучше видящего глаза (количество глаз, $n = 35$), Б – хуже видящего глаза (количество глаз, $n = 35$)

Fig. 7. The distribution of children with amblyopia depending on the number of incorrectly perceived colour tones in the study: А – the best-seeing eye (number of eyes, $n = 35$), Б – the worst-seeing eye (number of eyes, $n = 35$)

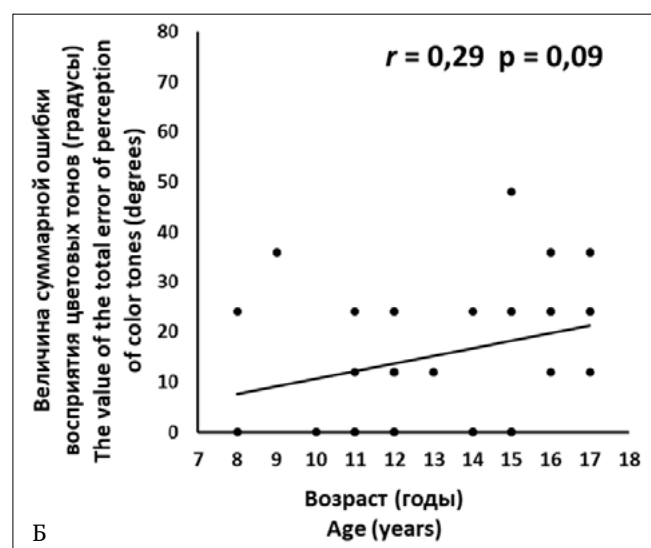
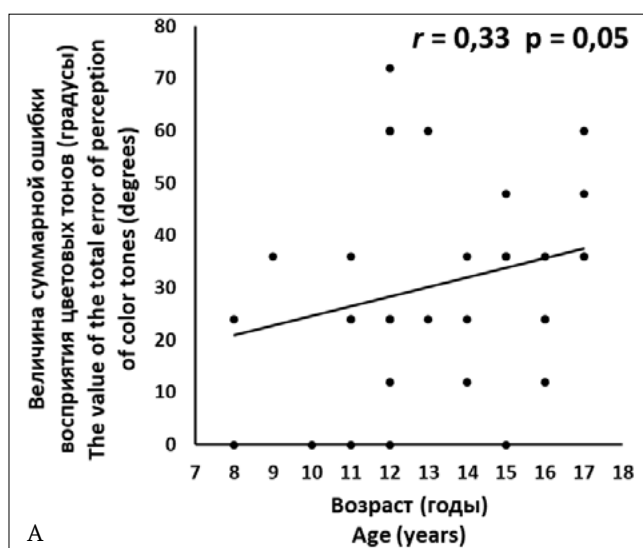


Рис. 8. Зависимость суммарной величины ошибок восприятия цветовых тонов от возраста детей с амблиопией при исследовании: А – лучше видящего глаза (количество глаз, $n = 35$), Б – хуже видящего глаза (количество глаз, $n = 35$)

Fig. 8. The dependence of the total value of colour tone perception errors on the age of children with amblyopia in the study: А – the best-seeing eye (number of eyes, $n = 35$), Б – the worst-seeing eye (number of eyes, $n = 35$)

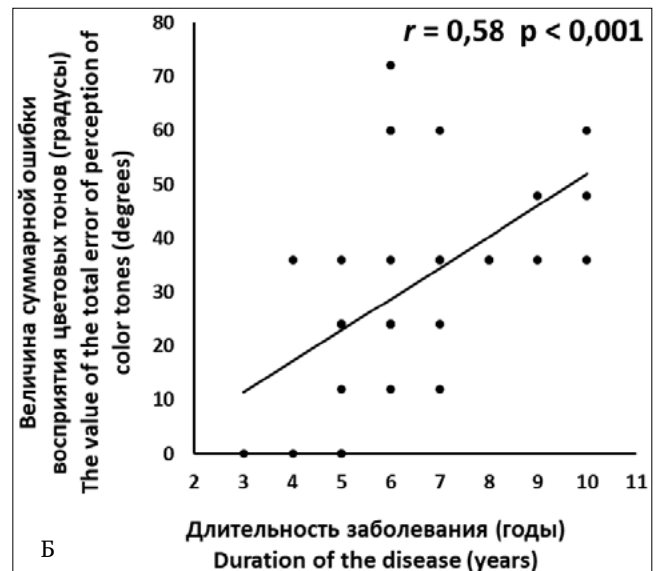
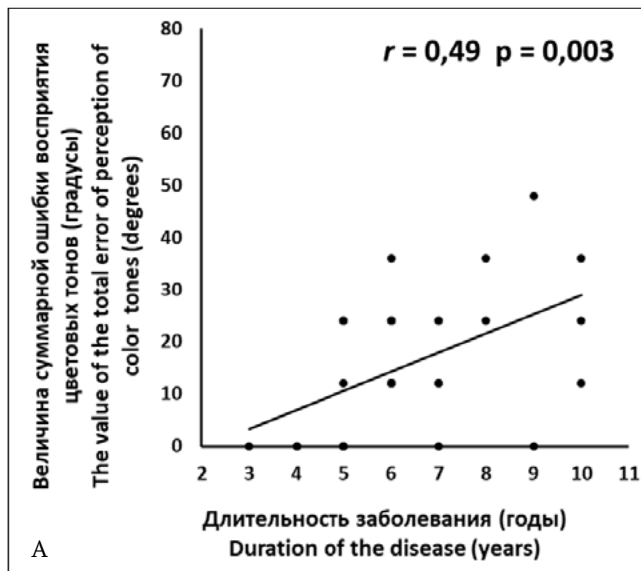


Рис. 9. Зависимость суммарной величины ошибок восприятия цветных тонов от длительности заболевания у детей с амблиопией при исследовании: А – лучше видящего глаза (количество глаз, $n = 35$), Б – хуже видящего глаза (количество глаз, $n = 35$)

Fig. 9. The dependence of the total value of colour tone perception errors on the duration of the disease in the children with amblyopia in the study: А – the best-seeing eye (number of eyes, $n = 35$), Б – the worst-seeing eye (number of eyes, $n = 35$)

Корреляционный анализ зависимости величины суммарной ошибки восприятия цветных тонов от остроты зрения обоих глаз демонстрирует статистически достоверную слабую отрицательную корреляцию ($r = -0,47, p < 0,001$) (рис. 10).

При этом нужно отметить, что из 10 пациентов с острой зрения лучше видящего глаза 0,9–1,0 четверо имели небольшие ($12-24^\circ$) нарушения восприятия синего и зеленого (трое детей), а также пурпурного (один ребенок) тонов.

Выявленная нами обратная зависимость выражения нарушения цветовосприятия от остроты зрения у пациентов с амблиопией согласуется с результатами масштабного исследования Rajavi Z. и соавт., проведенного в группе 2160 детей школьного возраста с нормальной остротой зрения и амблиопией [6]. В своей публикации авторы подчеркивают, что состояние цветового зрения, согласно полученным ими данным, коррелирует именно с остротой зрения, но не зависит от аномалий рефракции и вида амблиопии.

Среди ошибочно воспринимаемых тонов у детей с амблиопией преобладали зеленый и синий (31,1 и 44,5% соответственно) для лучше видящего глаза. При исследовании хуже видящего глаза соотношение неправильно воспринимаемых тонов было более равномерным в отношении красного, зеленого, синего и пурпурного цветов (27,8, 16,4, 24,2, 16,4% соответственно) (рис. 11).

Сравнение данных, полученных при помощи разработанного нами способа оценки состояния цветового зрения и классического дихотомического теста Фарнsworth – Манселла D-15, показало, что в 27 (77,1%) случаях для лучше видящего глаза и 29 (82,9%) для хуже видящего глаза результаты совпадали. Согласно совпадающим результатам обоих тестов, правильное восприятие всех цвето-

вых тонов наблюдали при исследовании лучше видящего глаза в семи случаях и хуже видящего глаза в шести случаях. Нарушения цветового зрения по обоим тестам при исследовании лучше/хуже видящего глаза выявляли у 20/23 детей соответственно. В остальных случаях наблюдали расхождение результатов по классическому и нашему способам оценки цветового зрения. У семи детей при исследовании лучше видящего глаза и у шести детей при исследовании хуже видящего глаза нарушения цветового зрения выявляли разработанным нами

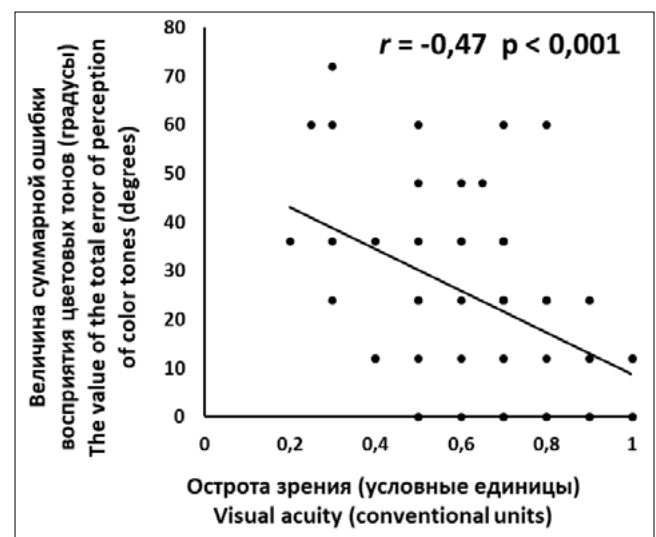


Рис. 10. Зависимость суммарной величины ошибок восприятия цветных тонов от остроты зрения у детей с амблиопией при исследовании обоих глаз (количество глаз, $n = 70$)

Fig. 10. The dependence of the total amount of errors in the perception of colour tones on visual acuity in the children with amblyopia in the study of both eyes (number of eyes, $n = 70$)

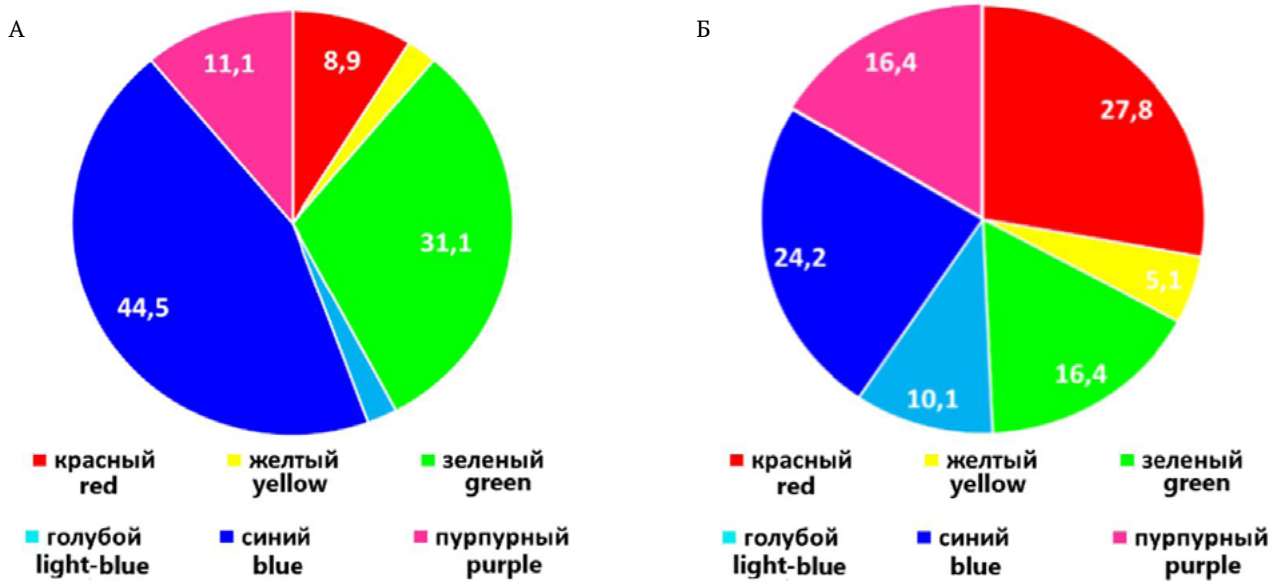


Рис. 11. Процентное соотношение количества ошибок восприятия цветовых тонов у детей с амблиопией при исследовании: А – лучше видящего глаза (количество глаз, $n = 35$), Б – хуже видящего глаза (количество глаз, $n = 35$)

Fig. 11. The percentage ratio of the number of errors in the perception of colour tones in the children with amblyopia in the study: А – the best-seeing eye (number of eyes, $n = 35$), Б – the worst-seeing eye (number of eyes, $n = 35$)

Таблица 2. Чувствительность и специфичность разработанного нами способа оценки цветового зрения в сравнении с чувствительностью и специфичностью теста Фарнsworth – Манселла D-15

Table 2. Sensitivity and specificity of our method of assessing colour vision in comparison with sensitivity and specificity of the Farnsworth-Mansell D-15 Test

Тесты Tests	Наш тест Our test		
D-15 test	Совпадающие «+» 73 глаза Coinciding «+» 73 eyes	Наш тест «+» D-15 test «-» 21 глаз Our test «+» D-15 test «-» 21 eyes	Чувствительность D-15 test 77,6% Sensitivity of D-15 test 77.6%
	Наш тест «-» D-15 test «+» 7 глаз Our test «-» D-15 test «+» 7 eyes	Совпадающие «-» 61 глаз Coinciding «-» 61 eyes	Специфичность D-15 test 89,7% Specificity of the D-15 test 89.7%
	Чувствительность нашего теста 91,2% Sensitivity of our test 91.2%	Специфичность нашего теста 74,4% Specificity of our test 74.4%	Общее число глаз 162 Total number of eyes 162

Примечание: «+» – случаи выявленных нарушений цветового зрения, «-» – случаи невыявленных нарушений цветового зрения.

Note: «+» – cases of the detected colour vision deficiency, «-» – cases of the undetected colour vision deficiency.

способом и не обнаруживали при помощи теста Фарнsworth – Манселла D-15. Один ребенок при исследовании лучше видящего глаза хорошо справился с нашим тестом, но сделал две ошибки при ранжировке фишек в сине-зеленой части классического теста Фарнsworth – Манселла D-15.

Чувствительность и специфичность подхода определяли в общей группе обследуемых детей по методу Байеса для условных вероятностей. Чувствительность вычисляли по формуле $Ч = \text{ИП} / (\text{ИП} + \text{ЛО}) \times 100\%$, где Ч – чувствительность, ИП – истинно положительный результат, ЛО – ложноотрицательный результат. Специфичность вычисляли по формуле $С = \text{ИО} / (\text{ИО} + \text{ЛП}) \times 100\%$, где С – специфичность, ИО – истинно отрицательный результат, ЛП – ложноположительный результат. Сравнительный анализ представлен в табл. 2.

Анализируя представленные данные, нужно отметить достаточно высокие показатели чувствительности и специфичности обоих методов. Чувствительность нашего метода была немного больше, а специфичность немного меньше, чем классического, но эта разница не являлась статистически достоверной ($p > 0,05$). Также нужно отметить, что в нашем исследовании чувствительность и специфичность теста Фарнsworth – Манселла D-15 были сопоставимы с чувствительностью (75,8%) и специфичностью (91,7%) этого метода в исследовании других авторов [22].

Результаты нашего исследования подтверждают правильность современных представлений об амблиопии как о сложной многофакторной патологии зрительной системы, симптомокомплекс которой включает не только снижение остроты зрения и кон-

трастной чувствительности, но и нарушения других зрительных функций, в том числе цветового зрения.

При этом механизмы формирования патологической функциональной системы цветовосприятия при амблиопии остаются недостаточно изученными. Существует предположение, что у пациентов с амблиопией прежде всего страдает парвоцеллюлярный канал проведения и анализа зрительной информации, обеспечивающий в норме восприятие формы, цвета, объема и точной пространственной локализации объекта. Между тем, не вполне ясно, на каком уровне зрительной системы происходят нарушения функционирования этого канала – периферическом или центральном.

Возможность патологических изменений функционирования сетчатки при амблиопии подтверждают результаты различных психофизических и электрофизиологических исследований. Показаны изменения паттерн-электроретинограммы при различных видах амблиопии, а также при помощи оптической когерентной томографии выявлено нередкое увеличение толщины слоя нервных волокон и фовеолярной области в амблиопичных глазах [5]. Предполагаемым объяснением этих изменений является прекращение или замедление процесса уничтожения избыточных ганглиозных клеток и излишних синаптических соединений [5]. Между тем, не стоит забывать, что, согласно классическим представлениям о патогенезе амблиопии, большую роль в развитии заболевания играет процесс центрального торможения обработки зрительной информации разной модальности (сигналы о форме, цвете, удаленности объекта и т.д.), поступающей в корковый отдел зрительного анализатора от амблиопичного глаза [1–3]. О большом значении нормального функционирования центральных механизмов цветовосприятия свидетельствуют клинические случаи изолированного нарушения цветового зрения (с сохранением других зрительных функций) при поражении центра цвета в затылочной доле больших полушарий. Так, например, американский невролог и нейропсихолог О. Сакс наблюдал пациента, перенесшего черепно-мозговую травму, в результате которой пострадала кортикальная зона, обеспечивающая обработку информации о цвете [27]. Этот пациент, согласно описанию О. Сакса, с трудом переносил изменившийся вид других людей и свое собственное отражение в зеркале как «ожившие серые статуи». При этом состояние других зрительных функций у данного пациента осталось без изменений.

Таким образом, использование эффективных методов оценки состояния цветового зрения необходимо для полноценной диагностики зрительных функций у детей с амблиопией, а результаты исследования цветовосприятия имеют большое значение для дальнейшего развития представлений о патогенезе амблиопии и персонализированного подхода к лечению данного заболевания.

Выводы

1. Результаты оценки цветового зрения при помощи разработанного нами способа демонстрируют, что только 28,6% детей с амблиопией при исследовании лучше видящего глаза и 14,3% при исследовании хуже видящего глаза способны правильно воспринимать все цветовые тона, в отличие от детей контрольной группы, в которой не меньше половины детей успешно справляются с определением всех используемых цветовых тонов при тестировании каждого глаза.

2. Количественная оценка цветового зрения при помощи разработанного нами способа демонстрирует достоверно более высокие показатели суммарной ошибки восприятия цветовых тонов у детей с амблиопией по сравнению с детьми контрольной группы.

3. Показатели суммарной ошибки восприятия цветовых тонов у детей с амблиопией при исследовании хуже видящего глаза достоверно выше аналогичных показателей лучше видящего глаза.

4. Выраженность нарушений цветового зрения у детей с амблиопией имеет достоверную прямую зависимость от длительности заболевания и достоверную обратную зависимость от остроты зрения.

5. Нарушения цветового зрения, выявляемые у детей контрольной группы, чаще всего касаются восприятия красного, зеленого и синего цветовых тонов при исследовании доминантного и недоминантного глаза.

6. У детей с амблиопией при исследовании лучше видящего глаза чаще выявляются нарушения восприятия зеленого и синего тонов, а при исследовании хуже видящего глаза – красного, зеленого, синего и пурпурного.

7. Разработанный нами способ позволяет эффективно проводить количественную и качественную оценку цветового зрения у детей с амблиопией.

Вклад авторов: авторы внесли равный вклад в эту работу.

Участие в сборе и статистической обработке материала: С.И. Рычкова, Р.И. Сандимиров.

Поиск литературы, подготовка иллюстраций: Р.И. Сандимиров.

Обсуждение результатов и редактирование текста статьи: В.Г. Лихванцева.

Написание текста: С.И. Рычкова.

Author's contribution: the authors contributed equally to this work.

Participation in the collection, statistical processing of the material: S.I. Rychkova, R.I. Sandimirov.

Literature search, preparation of illustrations: R.I. Sandimirov.

Discussion of the results and editing of the text of the article: V.G. Likhvantseva.

Writing the text: S.I. Rychkova.

Литература

1. Бурлуцкая Л.А. Этиопатогенетические механизмы амблиопии. *Вестник офтальмологии*. 2007;3:48–51.
2. Матросова Ю.В. Этиопатогенез, клиника и методы лечения больных с амблиопией. *Вестник НГУ. Серия: Биология, клиническая медицина*. 2012;10(5):193–202.
3. Маглакелидзе Н.М., Зуева М.В. Амблиопия и бинокулярное зрение. *Российский офтальмологический журнал*. 2017;2:97–102. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-2-97-102>
4. Kocak-Altintas A.G., Satana B., Koçak I., Duman S. Visual acuity and color vision deficiency in amblyopia. *European Journal of Ophthalmology*. 2000;10(1):77–81. <https://doi.org/10.1177/112067210001000113>
5. Нероев В.В., Маглакелидзе Н.М., Зуева М.В. Патопфизиология амблиопии: вовлечена ли сетчатка? *Российский офтальмологический журнал*. 2014;7(4):98–105.
6. Rajavi Z., Sabbaghi H., Baghini A.S. et al. Prevalence of color vision deficiency and its correlation with amblyopia and refractive errors among primary school children. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*. 2015;10(2):130–136. <https://doi.org/10.4103/2008-322X.163778>
7. Suliman I.A.M., Ali M.S.A. The effect of amblyopia on contrast sensitivity, color vision, and stereoacuity. *Al-Basar International Journal of Ophthalmology*. 2017;4(2):54–59. https://doi.org/10.4103/bijo.bijo_5_17
8. 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. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.04.012>
9. Tang T., Álvaro L., Alvarez J. et al. ColourSpot, a novel gamified tablet-based test for accurate diagnosis of color vision deficiency in young children. *Behavior Research Methods*. 2021:1–13. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01622-5>
10. Kerber K.L. Testing color vision in children. The pediatric eye exam quick reference guide. IGI Global; 2022. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8044-8.ch002>
11. Agarwal A., Dinakar S., Tripathy N.K. et al. Colour vision standards: Past, present, and future. *Indian Journal of Aerospace Medicine*. 2020;64(2):93–99. https://doi.org/10.25259/IJASM_44_2020
12. Рабкин Е.Б. Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения. М.: Медицина; 1971.
13. Ishihara S. Tests for colour blindness. Tokyo: Kanehara Shupper Co. Ltd.; 1972.
14. Ngente Z., Jadav B., Aafaque S. et al. Prevalence of color vision anomalies among dental professionals. *Middle East African Journal of Ophthalmology*. 2021;28(3):169–173. https://doi.org/10.4103/meajo.meajo_529_20
15. 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.
16. Neitz M., Neitz J. A new mass screening test for color-vision deficiencies in children. *Color Research & Application*. 2001;26(S1):239–S249. [https://doi.org/10.1002/1520-6378\(2001\)26:1+<::aid-col51>3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/1520-6378(2001)26:1+<::aid-col51>3.0.co;2-1)
17. Макаров И.А. Распространенность наследственных нарушений цветовосприятия. *Офтальмология*. 2020;17(3):414–421. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3-414-421>
18. 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. <https://doi.org/10.1364/JOSA.33.000568>
19. Farnsworth D. The Farnsworth dichotomous test for color blindness. Panel D-15 manual. New York: The Psychological Corporation; 1947.

References

1. Burlutskaya L.A. Etiopathogenetic mechanisms of amblyopia. *Bulletin of Ophthalmology*. 2007;3:48–51. (In Russ.)
2. Matrosova Yu.V. Etiopathogenesis, clinic and methods of treatment of patients with amblyopia. *Bulletin of the NSU. Series: Biology, Clinical Medicine*. 2012;10(5):193–202. (In Russ.)
3. Maglakelidze N.M., Zueva M.V. Amblyopia and binocular vision. *Russian Ophthalmological Journal*. 2017;2:97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-2-97-102>
4. Kocak-Altintas A.G., Satana B., Koçak I., Duman S. Visual acuity and color vision deficiency in amblyopia. *European Journal of Ophthalmology*. 2000;10(1):77–81. <https://doi.org/10.1177/112067210001000113>
5. Neroyev V.V., Maglakelidze N.M., Zueva M.V. Pathophysiology of amblyopia: is the retina involved? *Russian Ophthalmological Journal*. 2014;7(4):98–105. (In Russ.)
6. Rajavi Z., Sabbaghi H., Baghini A.S. et al. Prevalence of color vision deficiency and its correlation with amblyopia and refractive errors among primary school children. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*. 2015;10(2):130–136. <https://doi.org/10.4103/2008-322X.163778>
7. Suliman I.A.M., Ali M.S.A. The effect of amblyopia on contrast sensitivity, color vision, and stereoacuity. *Al-Basar International Journal of Ophthalmology*. 2017;4(2):54–59. https://doi.org/10.4103/bijo.bijo_5_17
8. 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. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.04.012>
9. Tang T., Álvaro L., Alvarez J. et al. ColourSpot, a novel gamified tablet-based test for accurate diagnosis of color vision deficiency in young children. *Behavior Research Methods*. 2021:1–13. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01622-5>
10. Kerber K.L. Testing color vision in children. The pediatric eye exam quick reference guide. IGI Global; 2022. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8044-8.ch002>
11. Agarwal A., Dinakar S., Tripathy N.K. et al. Colour vision standards: Past, present, and future. *Indian Journal of Aerospace Medicine*. 2020;64(2):93–99. https://doi.org/10.25259/IJASM_44_2020
12. Rabkin E.B. Polychromatic tables for the study of color perception. Moscow: Medicine; 1971. (In Russ.)
13. Ishihara S. Tests for colour blindness. Tokyo: Kanehara Shupper Co. Ltd.; 1972.
14. Ngente Z., Jadav B., Aafaque S. et al. Prevalence of color vision anomalies among dental professionals. *Middle East African Journal of Ophthalmology*. 2021;28(3):169–173. https://doi.org/10.4103/meajo.meajo_529_20
15. 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.
16. Neitz M., Neitz J. A new mass screening test for color-vision deficiencies in children. *Color Research & Application*. 2001;26(S1):239–S249. [https://doi.org/10.1002/1520-6378\(2001\)26:1+<::aid-col51>3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/1520-6378(2001)26:1+<::aid-col51>3.0.co;2-1)
17. Makarov I.A. Prevalence of hereditary color perception disorders. *Ophthalmology*. 2020;17(3):414–421. (In Russ.) <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3-414-421>
18. 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. <https://doi.org/10.1364/JOSA.33.000568>
19. Farnsworth D. The Farnsworth dichotomous test for color blindness. Panel D-15 manual. New York: The Psychological Corporation; 1947.

20. Доброхотова Т.А., Брагина Н.Н. Функциональные асимметрии человека. М.: «Медицина»; 1988.
21. Рычкова С.И., Лихванцева В.Г., Сандимиров Р.И. Латеральные фенотипы у детей с офтальмопатологией. *Офтальмология*. 2022;19(3):617–623. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-617-623>
22. Shrestha R.K., Shrestha, G.S. 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.
23. Shrestha R.K., Joshi M.R., Shakya S., Ghising R. Color vision defects in school going children. *JNMA J Nepal Med Assoc*. 2010;50:264–266.
24. Kim H.B., Lee S.Y., Choe J.K. et al. The incidence of congenital color deficiency among Koreans. *J Korean Med Sci*. 1989;4:117–120.
25. Zein Z.A. Gene frequency and type of color blindness in Ethiopians. *Ethiop Med J*. 1990;28:73–75.
26. Birch J. Pass rates for the Farnsworth D-15 colour vision test. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2008;28(3):259–264. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2008.00566.x>
27. Sacks O. An anthropologist on Mars: Seven paradoxical tales. New York: Knopf; 1995.

Сведения об авторах

Рычкова Светлана Игоревна^{*}, кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, ведущий научный сотрудник лаборатории «Зрительные системы» ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» РАН; доцент кафедры глазных болезней Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России; e-mail: lana.rych@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6764-8950>

Лихванцева Вера Геннадьевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии Академии постдипломного образования ФБГУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства»; e-mail: likhvantseva-4@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2708-7217>

Сандимиров Роман Игоревич, студент ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; e-mail: sandimirov.roman@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3163-2943>

20. Dobrokhotova T.A., Bragina N.N. Human functional asymmetries. Moscow: Publishing House «Medicina»; 1988. (In Russ.)
21. Rychkova S.I., Likhvantseva V.G., Sandimirov R.I. Lateral phenotypes in children with ophthalmopathy. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(3):617–623. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-617-623>
22. Shrestha R.K., Shrestha, G.S. 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.
23. Shrestha R.K., Joshi M.R., Shakya S., Ghising R. Color vision defects in school going children. *JNMA J Nepal Med Assoc*. 2010;50:264–266.
24. Kim H.B., Lee S.Y., Choe J.K. et al. The incidence of congenital color deficiency among Koreans. *J Korean Med Sci*. 1989;4:117–120.
25. Zein Z.A. Gene frequency and type of color blindness in Ethiopians. *Ethiop Med J*. 1990;28:73–75.
26. Birch J. Pass rates for the Farnsworth D-15 colour vision test. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2008;28(3):259–264. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2008.00566.x>
27. Sacks O. An anthropologist on Mars: Seven paradoxical tales. New York: Knopf; 1995.

Information about the authors

Svetlana I. Rychkova^{*}, Cand. Sci. (Med.), ophthalmologist, Lead researcher of Vision Physiology laboratory of the Kharkevich Institute for Information Transmission Problems; Department of Eye Diseases of the Medico-biological University of Innovation and Continuing Education of Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency; e-mail: lana.rych@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6764-8950>

Vera G. Likhvantseva, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Ophthalmology of the Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency of Russia; e-mail: likhvantseva-4@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2708-7217>

Roman I. Sandimirov, student of the Pirogov Russian National Research Medical University; e-mail: sandimirov.roman@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3163-2943>