

Оценка стереозрения на основе хромостереопсиса у пациентов с косоглазием

С.И. Рычкова¹В.Г. Лихванцева^{2,3}Р.И. Сандимиров⁴

¹ ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук
Большой Каретный пер., 19, Москва, 127051, Российская Федерация

² ФГБУ ГНЦ РФ «Федеральный биофизический центр им. А.И. Бурназяна»
Федерального медико-биологического агентства России
ул. Гамалеи, 15, Москва, 123098, Российская Федерация

³ ФПК «Академия постдипломного образования» ФГБУ ФМБА России
Волоколамское шоссе, 91, Москва, 125371, Российская Федерация

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

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2020;17(3S):625–633

Исследование посвящено одной из актуальных проблем современной страбизмологии — разработке эффективных способов оценки стереозрения. **Цель** — разработать эффективный способ оценки стереозрения на основе хромостереопсиса (ХС) у пациентов с косоглазием. **Пациенты и методы.** Наблюдали 135 детей в возрасте от 8 до 17 лет, которые были разделены на три группы, равнозначные по возрастному составу: 45 детей с аметропией; 31 ребенок с содружественным косоглазием; 59 детей контрольной группы без офтальмопатологии. На первом этапе исследовали возможности использования ChromaDepth glasses для качественной оценки стереозрения в трех группах детей с помощью трех вариантов стимулов: модифицированной фигуры Kanisza; тестовых изображений, создающих иллюзорную фигуру квадрата; цветного варианта фигуры Поггендорфа. На втором этапе исследовали возможности использования изображений с разными спектральными характеристиками и призм для качественной и количественной оценки стереозрения на основе ХС в тех же трех группах детей. **Результаты.** Анализ результатов первого этапа показал высокую чувствительность (90,6 % для первого стимула, 90,5 % для второго, 99 % для третьего) и специфичность (96,5 % для первого стимула, 93,3 % для второго и 84,4 % для третьего) всех трех стимулов, используемых для качественной оценки (наличия) стереозрения. Результаты второго этапа продемонстрировали возможности определения пороговых значений выраженности ХС для количественной оценки стереозрения. Установлена зависимость выраженности ХС от силы призм в контроле и у детей с аметропией. Показана эффективность применения разработанного способа в исследовании у детей с косоглазием. **Заключение.** Исследование ХС с помощью ChromaDepth glasses является простым и эффективным способом качественной оценки стереозрения. Разработанный способ количественной оценки стереозрения на основе ХС с использованием стимулов с разными спектральными характеристиками и призм позволяет эффективно оценивать состояние стереозрения без дополнительного разделения полей зрения даже при наличии угла косоглазия и прогнозировать возможность возникновения и выраженность нежелательных хроматических иллюзий у пациентов при назначении им призматической коррекции.

Ключевые слова: хромостереопсис, стереозрение, косоглазие, призматическая коррекция

Для цитирования: Рычкова С.И., Лихванцева В.Г., Сандимиров Р.И. Оценка стереозрения на основе хромостереопсиса у пациентов с косоглазием. *Офтальмология*. 2020;17(3S):625–633. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3S-625-633>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует



Evaluation of Stereo Vision Based on Chromostereopsis in Patients with Strabismus

S.I. Rychkova¹, V.G. Likhvantseva^{2,3}, R.I. Sandimirov⁴

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

² Federal Biophysical Center named after A.I. Burnazyan
Gamalei str., 15, Moscow, 123098, Russian Federation

³ Academy of Postgraduate Education
Volokolamskoe highway, 91, Moscow, 125371, Russian Federation

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

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2020;17(3S):625–633

The study is devoted to one of actual problems of modern strabismological — the development of effective methods for evaluation of stereo vision. **The purpose:** to develop an effective method for evaluating stereopsis based on chromostereopsis (CS) in patients with strabismus. **Patients and methods.** We observed 135 children aged from 8 to 17 years, who were divided into three groups, equivalent age: 1) 45 children with ametropia; 2) 31 children with not paralytic strabismus; 3) 59 children — the control group without ophthalmopathy. At the first stage, we investigated the possibility of using "ChromaDepth glasses" for qualitative assessment of stereo vision in three groups of children. We used three types of stimuli: a modified Kanisza shape; test images that create an illusory square shape; a color version of the Poggendorff shape. At the second stage, we investigated the possibility of using images with different spectral characteristics and prisms for qualitative and quantitative evaluation of stereovision based on CS in the same three groups of children. **Results.** The analysis of the results obtained at the first stage showed high sensitivity (90.6 % for the 1st stimulus, 90.5 % for the 2nd and 99 % for the 3rd) and specificity (96.5 % for the 1st stimulus, 93.3 % for the 2nd and 84.4 % for the 3rd) for all three stimuli used for qualitative evaluation of stereo vision. At the second stage, we obtained results demonstrating an increase in the severity of CS with an increase in the strength of prisms in control children and children with ametropia, as well as results indicating the effectiveness of the developed method for evaluating stereovision in children with a strabismus angle. **Conclusion.** The method of studying CS with the help of "ChromaDepth glasses" is a simple and effective method of qualitative assessment of stereovision. The developed method of qualitative and quantitative assessment of stereovision based on CS using stimuli with different spectral characteristics and prisms allows us to assess effectively the state of stereovision. It doesn't required additional separation of the visual fields even if there is a strabismus angle (using its prismatic compensation) and predict the possibility of occurrence and severity of undesirable chromatic illusions in patients when prescribing prismatic correction.

Keywords: chromostereopsis, stereo vision, strabismus, prismatic correction

For citation: Rychkova S.I., Likhvantseva V.G., Sandimirov R.I. Evaluation of Stereo Vision Based on Chromostereopsis in Patients with Strabismus. *Ophthalmology in Russia*. 2020;17(3S):625–633. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3S-625-633>

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Хромостереопсис (ХС) — зрительный феномен, заключающийся в восприятии смещения по глубине объектов разного цвета, объективно находящихся на одном расстоянии от наблюдателя.

Основными причинами естественного ХС (возникающего без использования сферической или призматической оптики) являются поперечная хроматическая абберация, создаваемая оптическими структурами глаза, и смещение фовеа по отношению к заднему полюсу глаза. Для большинства (примерно 80 %) людей характерен положительный ХС, при котором красные объекты на темном фоне кажутся ближе, чем синие или зеленые. Вместе с тем примерно у 20 % людей ХС имеет «обратный» знак или отсутствует. Данное явление объясняется тем, что ХС является многокомпонентным эффектом, зависящим от индивидуальных особенностей анатомической структуры глаза; уровня освещенности; ширины, формы и асимметрии зрачков [1].

Причиной очкового ХС (возникающего при использовании призм или сферической оптики с призматическим компонентом) является разная степень преломления коротковолновых и длинноволновых световых лучей. При этом смещение на сетчатке проекций изображений красных и синих объектов эквивалентно бинокулярной диспаратности (относительному горизонтальному смещению деталей изображений, проецируемых на сетчатку правого и левого глаза), создающей стереозффект. Обусловленный призматическим эффектом ХС зависит от силы призм, межзрачкового расстояния и различия показателей преломления для излучений с разной длиной волны [2].

Индивидуальные особенности и неоднозначность пространственных ощущений при естественном ХС затрудняют его практическое использование. Между тем, искусственный ХС, создаваемый призмами, существенно превосходит естественные эффекты и обеспечивает более однозначные пространственные ощущения. Этот принцип используется в очках ChromaDepth glasses,

С.И. Рычкова, В.Г. Лихванцева, Р.И. Сандимиров

Контактная информация: Рычкова Светлана Игоревна ana.rych@mail.ru

Оценка стереозрения на основе хромостереопсиса у пациентов с косоглазием

широко применяющихся для визуализации учебной и научной информации, а также в развивающих играх [3]. В офтальмологической практике эта технология до настоящего времени не применялась, вероятно, в связи с недостаточной изученностью возможностей в оценке способности к стереовосприятию.

В нашей предыдущей работе были показаны результаты исследования очкового хромостереопсиса у пациентов с аметропией и без офтальмопатологии [2]. Исследование проводили в полностью затемненном помещении с использованием красного и синего точечных источников света и призм различной силы, устанавливаемых поочередно основанием к носу и основанием к виску. Результаты исследования демонстрировали зависимость проявления ХС от ориентации и силы призм. Основным недостатком этого способа являлась необходимость использования полностью затемненного помещения, что создавало технические трудности при проведении измерений.

Цель настоящего исследования — разработать эффективный способ оценки стереозрения на основе хромостереопсиса у пациентов с косоглазием.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Под наблюдением находились 135 детей, которые по результатам стандартного офтальмологического обследования были разделены на три группы: 1) 45 детей в возрасте от 8 до 17 (в среднем $13,1 \pm 0,4$) лет с аметропией (31 ребенок с миопической рефракцией и 15 — с гиперметропической); 2) 31 ребенок с содружественным косоглазием в возрасте от 8 до 17 (в среднем $12,9 \pm 0,4$) лет (из них 22 со сходящимся на фоне гиперметропической рефракции и 9 — с расходящимся на фоне миопической рефракции); 59 детей контрольной группы без офтальмопатологии в возрасте также от 8 до 17 (в среднем $13,1 \pm 0,3$) лет. Среди пациентов с косоглазием амблиопия слабой степени выявлена у 20 детей, средней степени — у четырех детей, у остальных семи детей с косоглазием амблиопия отсутствовала.

Классическими методами, используемыми для оценки бинокулярных функций, являлись четырехточечный цветотест, синоптофор, Fly-test и Lang-test.

Все дети с аметропией и дети контрольной группы имели бинокулярный характер зрения по цветотесту, нормальную корреспонденцию сетчаток (НКС) при исследовании на синоптофоре и наличие стереозрения по Fly-test и Lang-test.

Среди пациентов с косоглазием у пяти детей (с ортотропией, достигнутой в результате хирургического лечения) выявили бинокулярный характер зрения, у шести детей — одновременный, в остальных 20 случаях — монокулярный (у 14 альтернирующий и у шести — монолатеральный).

При исследовании корреспонденции сетчаток под объективным углом косоглазия на синоптофоре у 12 пациентов выявили функциональную скотому

подавления (ФСП) и у 19 пациентов — НКС. У 5 пациентов НКС была устойчивой и у 14 — неустойчивой, чередующейся с диплопией или ФСП.

По Fly-test стереозрение выявлено у трех детей, по Lang-test у всех детей с косоглазием стереозрение отсутствовало.

На первом этапе работы исследовали возможности использования изображений, вызывающих ХС при наблюдении через ChromaDepth glasses, для качественной оценки стереовосприятия в трех группах детей.

Были применены три варианта тестовых изображений: 1) модифицированная фигура Kanisza; 2) тестовые изображения, создающие иллюзорную фигуру квадрата с феноменом распространения неоновых цветов (neon colour spreading (NCS)); 3) цветной вариант фигуры Поггендорфа.

Феномен NCS — видимое распространение цвета или свечения на соседствующие зоны. В классическом виде неоновый цвет, наблюдаемый в пределах иллюзорного изображения, создается при использовании цвета его контуров, отличного от цвета фона и индукторов. Это заставляет иллюзорное изображение выглядеть цветным, прозрачным и иногда мерцающим [4–6].

Модификация фигуры Kanisza и варианты изображений, вызывающих феномен распространения неоновых цветов, были созданы J. Ninio. Классический вариант фигуры Kanisza предполагает наличие на темном фоне двух пересекающихся прямоугольников — одного серого и другого белого с пятью круглыми «отверстиями». При рассматривании этой фигуры у наблюдателя возникает ощущение смены зрительных впечатлений — серый прямоугольник воспринимается попеременно: или впереди «дырявой» белой пластины (в этом случае серый прямоугольник кажется полупрозрачным), или позади нее [7, 8]. Модификация J. Ninio состояла в изменении

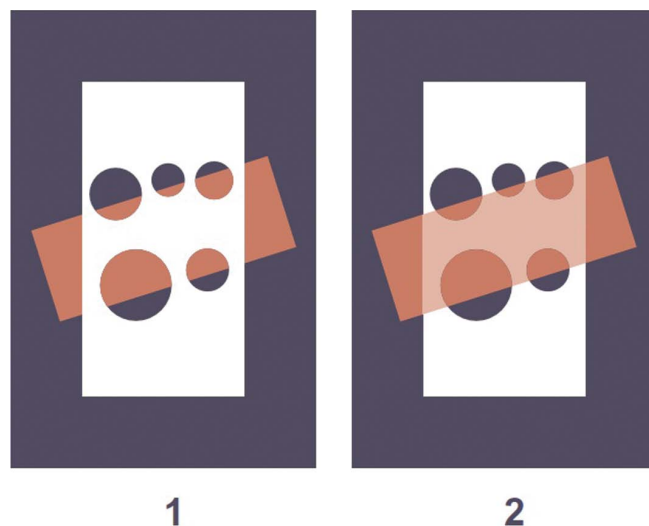


Рис. 1. Модифицированная фигура Kanisza

Fig. 1. Modified Kanisza shape

цвета серого прямоугольника на красный в классической фигуре Kanisza и создании дополнительного изображения с красным прямоугольником, расположенным впереди белого (рис. 1).

Тестовая фигура, создающая иллюзорную фигуру квадрата с феноменом NCS, созданная J. Ninio, включает два изображения на белом фоне, одно из которых содержит четыре синих кольцевых элемента (индуктора) с одним сегментом красного цвета, другое изображение содержит четыре красных кольцевых элемента (индуктора) с одним сегментом синего цвета [9]. Контрастные сегменты кольцевых элементов ориентированы таким образом, что представляют собой компоненты иллюзорного квадрата с когнитивными контурами на границе красного и синего цвета, субъективное окрашивание всех частей которого обеспечивается за счет феномена NCS (рис. 2).

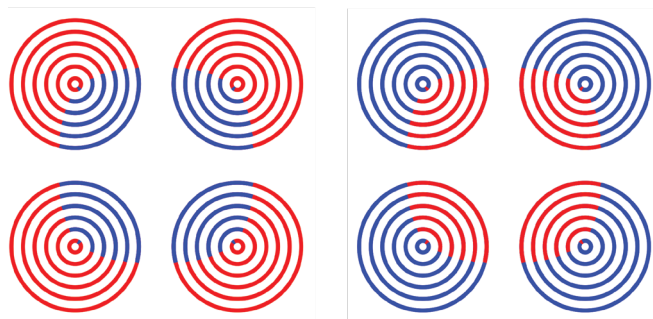


Рис. 2. Тестовые изображения, создающие иллюзорную фигуру квадрата с феноменом NCS

Fig. 2. Test images that create an illusory square shape with the NCS phenomenon

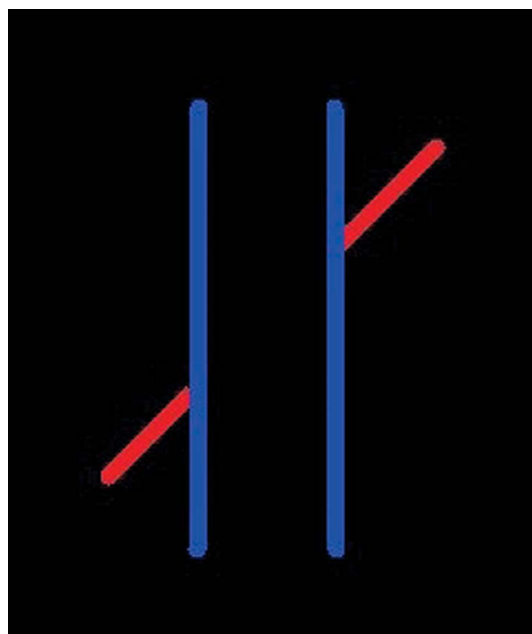


Рис. 3. Цветной вариант фигуры Поггендорфа

Fig. 3. Color version of the Poggendorff figure

Для модификации классической фигуры Поггендорфа мы использовали цвета, вызывающие ХС, — вертикальные параллельные линии синего цвета, диагональные отрезки — красного, фон изображения — черный (рис. 3).

Все используемые тестовые изображения предъявляли на экране монитора на расстоянии 70 см от глаз. Пациент рассматривал изображения через очки ChromaDepth glasses и сообщал о своих зрительных впечатлениях. У пациентов с аметропией дополнительно применяли оптимальную оптическую коррекцию.

На втором этапе работы исследовали возможности применения изображений, вызывающих ХС, и возможности призм для качественной и количественной оценки стереовосприятия в трех группах детей.

Разработанный способ предусматривает исследование ХС в освещенном помещении (не менее 500 лк). На экране монитора с расстояния 70 см от глаз предъявляли 16 тестовых изображений, каждое из которых состоит из квадрата и расположенного внутри него круга. Цветовые характеристики квадрата и круга для каждого тестового изображения рассчитаны по системе RGB таким образом, что в первом тестовом изображении (№ 1) цвет обеих фигур идентичен (квадрат и круг лилового цвета с характеристиками R 127,5, G 0, B 127,5), в каждом следующем изображении соотношение красного и синего компонентов для каждой фигуры меняли на 8,5. В последнем изображении (№ 16) цвета квадрата и круга максимально различны (R 0, G 0, B 255 — для синего квадрата, R 255, G 0, B 0 — для красного круга) (рис. 4).

В процессе измерений использовали призмы, ориентируя их либо основанием к носу, либо основанием к виску.

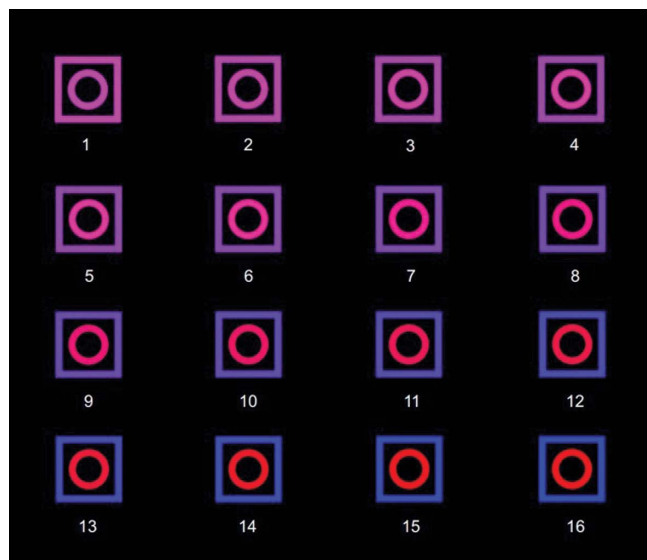


Рис. 4. Тестовые изображения для качественной и количественной оценки стереозрения на основе ХС в условиях призматической коррекции

Fig. 4. Test images for qualitative and quantitative evaluation of stereo vision based on CS in prismatic correction conditions

Для пациентов с ортотропией и бинокулярным характером зрения проводили измерение сначала без призм, а затем серию измерений с призмами, меняя в случайном порядке их силу и ориентацию. Силу призм при ориентации основанием к виску меняли в диапазоне от 1,0 до 10,0 prD (в пределах величины положительных фузионных резервов). Силу призм при ориентации основанием к носу меняли в диапазоне от 1,0 до 6,0 prD (в пределах величины отрицательных фузионных резервов).

При ориентации призм основанием к виску более сильное преломление синих лучей по сравнению с красными приводит к смещению в височном направлении проекций на сетчатке синего объекта относительно проекций красного, в результате этого синий объект воспринимается расположенным в пространстве ближе красного (отрицательный ХС) (рис. 5).

Если призмы устанавливают основанием к носу — проекции синего объекта на сетчатке смещаются в носовом направлении относительно проекций красного объекта. Следовательно, красный объект воспринимается в пространстве ближе синего (положительный ХС).

Для пациентов с девиацией подбирали призмы, полностью компенсирующие угол косоглазия, и проводили исследование ХС только в таких условиях (не меняя силу и ориентацию призм). Правильность подбора призмной коррекции контролировали при помощи одностроннего cover-test. Для этого призму силой приблизительно соответствующей величине девиации, помещали перед исследуемым глазом в тот момент, когда заслонкой прикрывали другой глаз. Если сила призм являлась достаточной для компенсации девиации, установочное движение исследуемого глаза отсутствовало. Если установочное движение еще наблюдалось, исследование повторяли с более сильной призмой, добиваясь полного исчезновения установочных движений.

Задачей пациента было определить пространственное положение каждого тестового изображения, предъявляемого на экране монитора, по отношению друг к другу — находится ли круг по глубине ближе квадрата, дальше квадрата или обе фигуры кажутся расположенными в одной плоскости.

При наличии у пациента аметропии, наряду с призмами, исследование проводили в условиях оптимальной оптической коррекции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ЭТАПА ИССЛЕДОВАНИЯ

У 57 (96,6 %) детей контрольной группы со стимулами, создающими иллюзорную фигуру квадрата с феноменом NCS, отмечали стереовосприятие в виде полупрозрачных иллюзорных квадратов, «висящих в воздухе» впереди кольцевых элементов. При этом феномен NCS сохранялся в трехмерном изображении и даже становился более выраженным, чем при восприятии плоского изображения (без ChromaDepth glasses). Нужно отметить также, что у всех детей с ХС кольцевые элементы

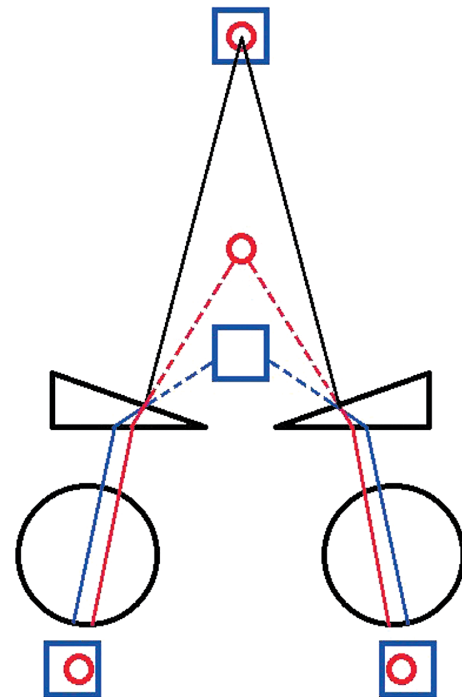


Рис. 5. Схема, поясняющая кажущееся смещение синего квадрата относительно красного круга при наблюдении стимула через призмы, ориентированные основанием к вискам (отрицательный ХС)

Fig. 5. Schematic representation explaining the apparent displacement of the blue square relative to the red circle when observing the stimulus through prisms oriented by the base to the temples (negative CS)

воспринимались как целые, окрашенные во всех сегментах одинаково, а иллюзорные квадраты воспринимались как отдельные фигуры контрастирующего с кольцевыми элементами цвета. У двух детей этой группы изображения воспринимались только как плоские, с сохранением феномена NCS.

При исследовании с модифицированной фигурой Kanisza 58 (98,3 %) детей контрольной группы наблюдали трехмерное изображение в виде полупрозрачного красного прямоугольника, «висящего в воздухе» впереди «дырявого» белого прямоугольника. Заметим, у всех детей, воспринимавших объем, зрительные впечатления со стимулом № 1 были сходны со зрительными впечатлениями, вызываемыми стимулом № 2. Небольшое отличие состояло том, что полупрозрачный красный прямоугольник стимула № 1 казался более светлым (распространение красного цвета на все части прямоугольника обеспечивается за счет феномена NCS) по сравнению с красным прямоугольником стимула № 2. При этом нужно отметить, что у 10 детей со стимулом № 1 наблюдалось чередование восприятия красного прямоугольника перед белым и восприятие красного прямоугольника позади белого. Наши наблюдения согласуются с результатами исследования М. Liinasuo и соавт., использовавшими в своей работе в качестве тестовых изображений фигуры, подобные треугольникам Kanisza,

но создаваемые стереопарами черных дисков с красными секторами, формирующими вершины иллюзорного треугольника, воспринимаемого наблюдателем выпуклым или вогнутым на белом фоне. В качестве объяснения некоторых различий зрительных эффектов у разных испытуемых и в разных условиях наблюдения авторы приводят гипотезу о параллельной и серийной обработке зрительной сигнализации об иллюзорных контурах, иллюзорных поверхностях и NCS в разных зонах мозга [5]. Кроме того, можно предполагать, что смена восприятия положения красного прямоугольника обусловлена влиянием монокулярных признаков, противодействующих работе бинокулярного механизма. Смена восприятия характеристик фигуры соответствует также общим принципам восприятия неоднозначных фигур [10]. Таким образом, использованные нами варианты тестовых изображений с феноменом NCS могут демонстрировать участие нескольких систем (как зрительных, так и когнитивных) в восприятии ХС [11].

С фигурой, вызывающей в обычных условиях наблюдения иллюзию Поггендорфа (ложное впечатление, что правый диагональный отрезок смещен вверх относительно условной линии, которая могла бы его соединять с левым), при наблюдении через ChromaDepth glasses у 58 (98,3 %) детей контрольной группы отмечалось фронтопараллельное разделение деталей (красные диагональные отрезки казались расположенными ближе в сагиттальной плоскости, чем синие вертикальные линии, что сопровождалось уменьшением выраженности иллюзии или полным ее исчезновением).

Среди детей с аметропией у 35 (77,8 %) пациентов с изображениями, создающими иллюзорные фигуры квадратов с феноменом NCS, отмечали стереовосприятие в виде полупрозрачных иллюзорных квадратов, «висящих в воздухе» впереди кольцевых элементов. При этом ФРНЦ в трехмерном изображении у этих пациентов был более выраженным, чем при восприятии плоского изображения (без ChromaDepth glasses). Десять детей этой группы воспринимали данные изображения только как плоские с NCS.

С модифицированной фигурой Kanisza также у 35 (77,8 %) детей этой группы наблюдали трехмерное изображение в виде полупрозрачного красного прямоугольника, «висящего в воздухе» впереди белого со стимулом № 1 и 2. Зрительные впечатления у детей с аметропией, воспринимавших объем, соответствовали зрительным впечатлениям детей контрольной группы.

У 40 (88,9 %) детей с аметропией при исследовании с фигурой, вызывающей в обычных условиях наблюдения иллюзию Поггендорфа, при наблюдении через ChromaDepth glasses наблюдалось фронтопараллельное разделение деталей, уменьшение выраженности иллюзии или полное ее исчезновение.

В группе детей с содружественным косоглазием способность к стереовосприятию наблюдали только у пяти пациентов (имеющих ортотропию) с изображениями,

создающими иллюзорные контуры квадратов, и модифицированной фигурой Kanisza. С модифицированной фигурой Поггендорфа стереовосприятие наблюдалось у восьми пациентов. Проявления стереовосприятия с данными тестами у пациентов с косоглазием были аналогичны его проявлениям у детей с аметропией и детей контрольной группы.

Для оценки эффективности разработанных тестов рассчитывали их чувствительность и специфичность по Байесу.

Чувствительность определяли 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.

Истинно положительным считали результат, при котором наличие стереозрения, выявленное при помощи разработанного нами теста, было подтверждено классическим Fly-test. Ложноположительным считали результат, при котором наличие стереозрения с разработанным тестом не было подтверждено Fly-test. Ложноотрицательным — результат, при котором стереозрение отсутствовало с разработанным тестом, но выявлялось при помощи Fly-test. Истинно отрицательным — результат, при котором стереозрение отсутствовало как с разработанным тестом, так и с Fly-test.

Наряду со специфичностью и чувствительностью определяли прогностическую значимость положительного результата (ПЗР+), представляющую собой долю истинно положительных результатов среди всех положительных значений теста, и показывающую, насколько велика вероятность выявления нарушения бинокулярного зрения при помощи разработанного теста. Рассчитывали также прогностическую значимость отрицательного результата (ПЗР-) — долю истинно отрицательных результатов теста среди всех отрицательных значений (табл.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ВТОРОГО ЭТАПА ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании ХС без призм (естественный ХС) — в группе контроля у 45 (76,3 %) детей наблюдался положительный ХС со стимулами № 16–14, у 10 (16,9 %) детей — отрицательный ХС с теми же стимулами и у 4 (6,8 %) детей ХС отсутствовал.

В группе с аметропией у 32 (71,1 %) детей наблюдался положительный ХС со стимулами № 16–14, у 7 (15,5 %) детей — отрицательный ХС со стимулами № 16 и 15 и у остальных 6 (13,4 %) детей ХС отсутствовал.

В группе с косоглазием положительный ХС наблюдался только у трех детей (с ортотропией, достигнутой в результате хирургического лечения) со стимулами № 16 и 15. Во всех остальных случаях в этой группе детей естественный ХС отсутствовал.

Таблица. Чувствительность и специфичность разработанных тестов**Table.** Sensitivity and specificity of developed tests

Результат / Result	Тестовые изображения / Visual stimuli		
	Модифицированная фигура Kanisza / Modified Kanisza shape	Зрительные стимулы, создающие иллюзорную фигуру квадрата / Visual stimuli that create an illusory square shape	Модифицированная фигура Поггендорфа / Modified Poggendorff shape
Положительный / Positive	96 (71,1 %)	95 (70,4 %)	101 (74,81 %)
Отрицательный / Negative	28 (20,7 %)	28 (20,7 %)	28 (20,75 %)
Ложноположительный / False positive	1 (1,5 %)	2 (1,5 %)	5 (3,7 %)
Ложноотрицательный / False negative	10 (7,4 %)	10 (7,4 %)	1 (0,74 %)
Чувствительность / Sensitivity	90,6 %	90,5 %	99 %
Специфичность / Specificity	96,5 %	93,3 %	84,8 %
ПЗР+ / Predictive significance of a positive result	90,6 %	90,5 %	99 %
ПЗР- / Predictive significance of a negative result	96,5 %	93,3 %	84,8 %

При исследовании ХС с призмами были выявлены общие закономерности в контрольной группе и в группе детей с аметропией: 1) при ориентации призм основанием к виску у всех пациентов наблюдался отрицательный ХС (в сагиттальной плоскости синие квадраты казались ближе расположенными, чем красные круги), а при ориентации призм основанием к носу — положительный ХС (в сагиттальной плоскости синие квадраты казались дальше расположенными, чем красные круги); 2) при увеличении силы призм выраженность ХС усиливалась, это проявлялось в том, что кажущаяся разница в расположении синего квадрата и красного круга в сагиттальной плоскости увеличивалась, и в том, что ХС возникал со стимулами, у которых спектральные характеристики квадрата и круга меньше отличались. Например, если с призмой силой 1,0 prD ХС наблюдался у пациента со стимулами № 16–14, то с призмой 2,0 prD ХС появлялся еще и со стимулами № 13–11. При этом ощущение глубины со стимулами № 16–14 усиливалось.

Для количественной оценки выраженности ХС отмечали стимул с минимально различающимися спектральными характеристиками, при которых еще наблюдался ХС (пороговое значение выраженности ХС). Результаты количественной оценки ХС с призмами разной силы представлены на графиках (рис. 6).

Представленные данные демонстрируют сходные результаты у детей контрольной группы и детей с аметропией как с линзами, ориентированными основанием к виску, так и с линзами, ориентированными основанием к носу. Между тем, нужно отметить достоверно более высокие пороговые значения ХС при исследовании с призмами силой 6,0–8,0 prD ($p < 0,01$) при их ориентации основанием к виску у детей с аметропией по сравнению с показателями детей группы контроля. Это свидетельствует о том, что для возникновения ХС у детей с аметропией могут требоваться более сильные относительные горизонтальные смещения проекций фигур на сетчатке.

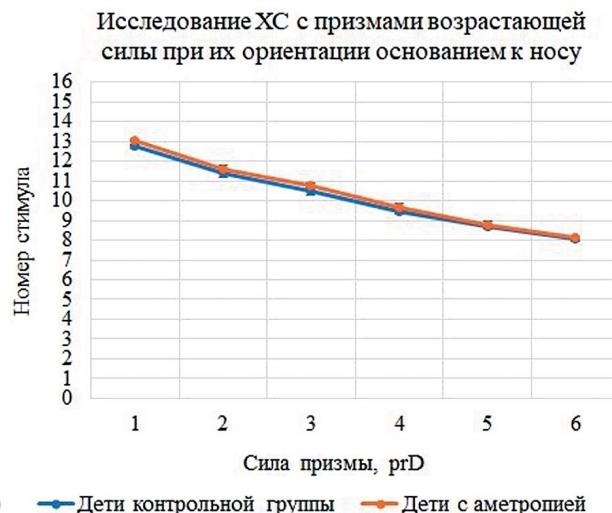
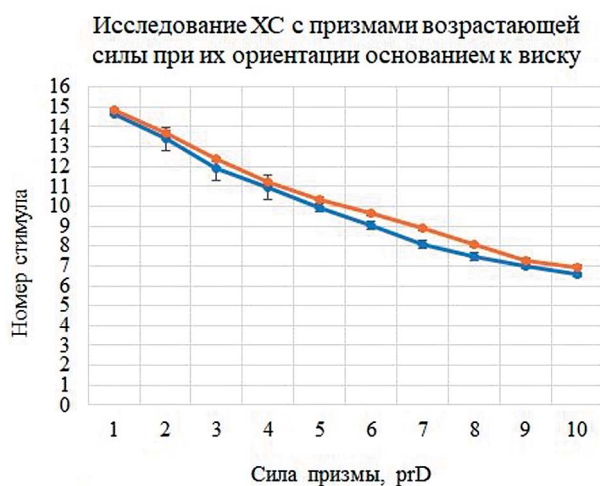


Рис. 6. Пороговые значения выраженности ХС ($M \pm m$) в зависимости от силы призм: а) при их ориентации основанием к виску, б) при их ориентации основанием к носу

Fig. 6. Threshold values of the severity of CS ($M \pm m$) depending on the strength of the prisms: а) when they are oriented with the base to the temple, б) when they are oriented with the base to the nose

В группе пациентов с содружественным косоглазием у пяти детей с ортотропией, достигнутой хирургическим путем, бинокулярным характером зрения и НКС на синоптофоре исследование проводили, используя призмы 1,0–3,0 prD основанием к виску и призмы силой 1,0–2,0 prD основанием к носу. Меньший диапазон силы призм был обусловлен ослабленными фузионными резервами у этих пациентов. В условиях ориентации призм основанием к виску у всех пяти пациентов ХС возникал со стимулами № 16–15 при силе призм 1,0 prD и со стимулами № 16–14 при силе призм 2,0–3,0 prD. В условиях ориентации призм основанием к носу у всех пяти пациентов ХС также возникал со стимулами № 16–15 при силе призм 1,0 prD и со стимулами № 16–14 при силе призм 2,0 prD.

Среди 26 детей с наличием девиации у шести из них угол косоглазия составлял 7–15° (14,0–30,0 prD) и у 20 детей 3–6° (6,0–12,0 prD). У этих детей исследование ХС проводили в условиях полной призмной компенсации девиации. При этом у 14 детей (с НКС при исследовании на синоптофоре) ХС возникал со стимулами № 16–14. Среди остальных 12 пациентов (с ФСП) пять детей воспринимали стимулы плоскими и у семи детей наблюдалась картина неустойчивого ХС в виде чередования положительного и отрицательного ХС или чередования наличия и отсутствия ХС в одних и тех же стимулах; отсутствие ХС в фиксируемом стимуле при его наличии в рядом расположенных нефиксируемых стимулах; отсутствия закономерности в восприятии ХС с разными стимулами (например, ХС наблюдался со стимулами № 16, 13 и 11, но отсутствовал со стимулами № 15, 14 и 12). Вероятно, это объясняется проявлениями пространственно-временных свойств функционального торможения и существованием периферической фузии у пациентов с содружественным косоглазием [12, 13].

Разработанный метод оценки стереозрения на основе ХС, создаваемого призмами, представляется перспективным для использования в офтальмологической практике, так как позволяет осуществлять качественную и количественную оценку способности к стереовосприятию при наличии у пациентов угла косоглазия без дополнительного деления полей зрения механическим, растровым или анаглифным способом.

Так, например, прибором, позволяющим исследовать стереозрение у пациентов с наличием угла косоглазия, является синоптофор, в наборе тестовых изображений которого имеются не только простые тестовые фигуры для совмещения и слияния, но и стереостимулы. Благодаря возможности устанавливать тубусы с тестовыми изображениями под объективным углом косоглазия независимо от его величины прибор позволяет исследовать стереозрение в условиях механического

разделения полей зрения. Между тем данные условия наблюдения являются далекими от естественных. В отличие от синоптофора, призмная компенсация угла косоглазия обеспечивает проецирование изображений на центральные зоны сетчатки глаз в условиях наблюдения, наиболее приближенных к естественным [14].

В современной офтальмологии призматическая коррекция применяется также для измерения и компенсации угла косоглазия, для компенсации ослабленной или недостаточной для зрительной работы на близком расстоянии (особенно у пациентов со слабовидением) конвергенции, а также для проведения зрительных упражнений, направленных на развитие фузионной способности [14–16]. Возникающие при этом хроматические аберрации могут вызывать у пациентов нежелательные зрительные впечатления и даже создавать опасные ситуации. Например, значительные ошибки в оценке расстояния до светящихся в темноте дорожных знаков и сигнальных огней, обусловленные ХС у пациентов, пользующихся очками с призматическими компонентами, могут быть причиной дорожно-транспортных происшествий. У детей с косоглазием, в лечении которых длительно используется призматическая коррекция, выраженный ХС может замедлять развитие нормальных механизмов стереозрения из-за систематических ошибок в локализации объектов. В связи с этим представляется необходимым проводить оценку наличия и степени выраженности ХС при подборе призматической коррекции у офтальмологических пациентов.

Таким образом, способ исследования ХС при помощи ChromaDepth glasses и предлагаемых вариантов цветных тестовых изображений, является простым в использовании методом качественной оценки стереозрения, обладающим высокой чувствительностью и специфичностью.

Разработанный способ количественной оценки стереозрения на основе ХС с использованием стимулов с разными спектральными характеристиками и призмами является эффективным и простым методом оценки состояния стереозрения без дополнительного деления полей зрения, который можно использовать даже при наличии угла косоглазия (в условиях его призмной компенсации). Кроме того, метод позволяет прогнозировать возможность возникновения и выраженность нежелательных хроматических иллюзий у пациентов при назначении им призматической коррекции.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Рычкова С.И. — сбор и статистическая обработка материала, подготовка иллюстраций;
Рычкова С.И. и Лихванцева В.Г. — концепция исследования, анализ полученных результатов, написание текста;
Сандимиров Р.И. — поиск и перевод иностранной литературы, участие в сборе материала и подготовке иллюстраций.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Рожкова Г.И., Грачева М.А. Естественный хромостереопсис: причины и индивидуальные вариации бинокулярных пространственных цветовых эффектов. Обзор. *Сенсорные системы*. 2014;1:3–14. [Rozhkova G.I., Gracheva M.A. Natural chromostereopsis: The causes and individual variability of the binocular spatial color effects. Review. *Sensory systems = Sensornye systemy*. 2014;1:3–14 (In Russ.).]
2. Рычкова С.И., Большаков А.С., Грачева М.А. Очковый хромостереопсис у людей с различными показателями естественного хромостереопсиса. *Сенсорные системы*. 2014;1:72–80. [Rychkova S.I., Bolshakov A.S., Gracheva M.A. Chromostereopsis due to eye glasses in patients with different characteristics of natural chromostereopsis. *Sensory systems = Sensornye systemy*. 2014;1:72–80 (In Russ.).]
3. Bailey M. Using ChromaDepth to obtain inexpensive single-image stereovision for scientific visualization. *Journal of Graphics Tools*. 1998;3(3):1–9. DOI: 10.1080/10867651.1998.10487491
4. Day R.H. Neon color spreading, partially delineated borders, and the formation of illusory contour. *Perception & Psychophysics*. 1983;34(5):488–490. DOI: 10.3758 / bf03203067
5. Liinasuo M., Kojo I., Häkkinen J., et al. Neon colour spreading in three-dimensional illusory objects in humans. *Neuroscience Letters*. 2000;281(2–3):119–122. DOI: 10.1016/S0304-3940(00)00818-1
6. Hasegawa K., Takahashi S. Jump Across the Gap! A New Type of Colour Spreading Illusion. *i-Perception*. 2018;9(6):1–10. DOI: 10.1177/2041669518819511
7. Kanisza G. Subjective contours. *Scientific American*. 1976;234(4):48–52. DOI: 10.1038/scientificamerican0476-48
8. Ninio J. *La science des illusions*. Paris. Ed. Odile Jacob. 1998. 202 p.
9. Ninio J. *L'impression des sens*. Paris. Ed. Odile Jacob. 2011. 281 p.
10. Toppino T.C., Long G.M. Time for a change: What dominance durations reveal about adaptation effects in the perception of a bi-stable reversible figure. *Attention, Perception, & Psychophysics*. 2015;77:867–882. DOI: 10.3758/s13414-014-0809-x
11. Kavšek M., Braun S. Infants perceive Three-Dimensional subjective contours. *Perception*. 2018;47(12):1153–1165. DOI: 10.1177/0301006618811051
12. Рычкова С.И., Diraison M.-C., Лихванцева В.Г. Результаты использования альтернирующего предъявления различных стереостимулов для исследования способности к стереовосприятию у детей с послеоперационной микродевиацией. *Офтальмохирургия*. 2019;3:29–35. [Rychkova S.I., Diraison M.-C., Likhvantseva V.G. The results of use of alternating presentation of different stereoisomages to study the ability to stereovision in children with postoperative residual microdeviation. *Ophthalmosurgery = Oftal'mokhirurgiya*. 2019;3:29–35 (In Russ.).] DOI: 10.25276/0235-4160-2019-3-29-35
13. Рычкова С.И., Грачева М.А., Сенько И.В. Комплексная оценка функциональных скотом у пациентов с косоглазием. *Сенсорные системы*. 2016;4:312–318. [Rychkova S.I., Gracheva M.A., Senko I.V. Comprehensive assessment of the functional suppression scotoma in patients with strabismus. *Sensory systems = Sensornye systemy*. 2016;4:312–318 (In Russ.).]
14. Кашченко Т.П., Чернышева С.Г., Розенблюм Ю.З. Применение призматических линз в офтальмологии. *Вестник оптометрии*. 2005;31:22–25. [Kastchenko T.P., Chernysheva S.G., Rozenblum U.Z. Application of prismatic lenses in ophthalmology. *Bulletin of optometry = Vestnik optometrii*. 2005;31:22–25 (In Russ.).]
15. Плисов И.Л., Белоусова К.А., Бикбулатова Д.Р. Алгоритм ортоптического лечения паралитического косоглазия в условиях жесткой гаплоскопии и призматической коррекции. *Офтальмохирургия*. 2012;1:22–25. [Plisov I.L., Puzyrevskiy K.G., Antsiferova N.G. Orthoptic treatment algorithm for paralytic strabismus in condition of total haploscopy and prismatic correction. *Ophthalmosurgery = Oftal'mokhirurgiya*. 2012;1:22–25 (In Russ.).]
16. Курочкин В.Н., Терехова Т.В., Глумскова Ю.Д. Применение призм Френеля в комплексном лечении содружественного косоглазия. *Офтальмология*. 2018;15(2):98–105. [Kurochkin V.N., Terekhova T.V., Glumskova Y.D. Application of fresnel prism in the complex treatment of friendly strabismus. *Ophthalmology in Russia = Oftal'mologiya*. 2018;15(2):98–105 (In Russ.).] DOI: 10.18008/1816-5095-2018-2S-98-105

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук
 Рычкова Светлана Игоревна
 кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, ведущий научный сотрудник лаборатории «Зрительные системы»
 Большой Каретный пер., 19, Москва, 127051, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-6764-8950>

ФГБУ ГНЦ РФ «Федеральный биофизический центр им. А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России
 ФПК «Академия постдипломного образования» ФГБУ ФМБА России
 Лихванцева Вера Геннадьевна
 доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии
 ул. Гамалеи, 15, Москва, 123098, Российская Федерация
 Волоколамское шоссе, 91, Москва, 125371, Российская Федерация

ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. 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
 Rychkova Svetlana I.
 PhD, ophthalmologist, leading researcher of the laboratory of physiology of vision
 Bolshoy Karetny lane, 19, Moscow, 127051, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-6764-8950>

Federal Biophysical Center named after A.I. Burnazyan
 Academy of Postgraduate Education
 The Federal biophysical center named after A.I. Burnazyan
 Likhvantseva Vera G.
 MD, Professor
 Gamalei str., 15, Moscow, 123098, Russian Federation
 Volokolamskoe highway, 91, Moscow, 125371, Russian Federation

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