

<https://doi.org/10.33791/2222-4408-2022-1-43-54>

УДК 612.843.725

Монокулярная оценка глубины (обзор литературы)

Рычкова Светлана И.^{1,2,*}, Лихванцева Вера Г.³¹ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» РАН, 127051, Российская Федерация, Москва, Большой Каретный пер., д. 19²Медико-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, Москва, ул. Гамалеи, д. 15³Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства», 125371, Российская Федерация, Москва, Волоколамское ш., д. 91

Резюме

Актуальность. Физиологическую основу пространственного восприятия традиционно относят к бинокулярной системе, интегрирующей сигналы, поступающие в мозг от каждого глаза, в единый образ трехмерного внешнего мира. Между тем, восприятие трехмерности возможно и за счет эволюционно более древней монокулярной системы пространственного восприятия. В норме ведущую роль в восприятии глубины играет бинокулярный механизм, а его нарушения приводят к сдвигу «силовых отношений» в сторону монокулярного. В связи с этим одним из актуальных направлений офтальмологии и нейрофизиологии является исследование особенностей монокулярной оценки глубины в норме и при офтальмопатологии. **Цель:** изучить данные литературы, посвященной монокулярному механизму оценки глубины, способам его исследования, а также особенностям его проявлений в норме и при офтальмопатологии. **Материалы и методы.** Проведен анализ публикаций на ресурсах PubMed, eLibrary, Cyberleninka, Crossref metadata search. **Результаты.** В обзоре рассмотрены современные представления о монокулярных признаках глубины, способных обеспечить эффективную работу монокулярного механизма пространственного зрения. Подробно рассмотрен стереокинетический эффект (СЭ), характеризующий силовые отношения монокулярных и бинокулярных механизмов пространственного зрения. Изучены возможности использования СЭ для оценки состояния механизмов пространственного зрения при офтальмологической и неврологической патологии. **Выводы.** Существует ряд монокулярных признаков глубины, способных обеспечить эффективную работу монокулярного механизма пространственного зрения, таких как перспектива, световые и цветовые эффекты, аккомодация, приобретенное с опытом знание истинных размеров объектов. Особое значение для офтальмологической практики имеет СЭ, вызываемый последовательным смещением на сетчатке проекций кольцевых эксцентрических изображений, позволяющий оценивать силовые отношения монокулярных и бинокулярных механизмов пространственного зрения. У пациентов с нарушениями бинокулярного зрения при амблиопии и косоглазии наблюдается уменьшение монокулярных и повышение бинокулярных показателей СЭ, а для органической патологии глазного дна более характерно только снижение монокулярных показателей. При этом изменения показателей СЭ могут служить дополнительными критериями оценки эффективности функционального лечения бинокулярных нарушений.

Ключевые слова: монокулярные механизмы пространственного восприятия, монокулярные признаки глубины, стереокинетический эффект, параллакс движения, структура из движения

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: авторы не получали финансирование при написании статьи.

Для цитирования: Рычкова С.И., Лихванцева В.Г. Монокулярная оценка глубины (обзор литературы). The EYE ГЛАЗ. 2022;24(1):43–54. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2022-1-43-54>

Поступила: 12.06.2021

Принята после доработки: 20.12.2021

Опубликована: 30.03.2022

© Рычкова С.И., Лихванцева В.Г., 2022.

Monocular Depth Estimation (Literature Review)

Svetlana I. Rychkova^{1,2,*}, Vera G. Likhvantseva³¹A.A. Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, 19, Bolshoy Karetny Lane, Moscow, 127051, Russian Federation²Medico-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 Federation³Academy 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, Volokolamsk Highway, Moscow, 125371, Russian Federation

Abstract

Background. The physiological basis of spatial perception is traditionally attributed to the binocular system, which integrates the signals coming to the brain from each eye into a single image of the three-dimensional outside world. The perception of three-dimensionality, however, is also possible due to the evolutionarily older monocular system of spatial perception. Normally, the binocular mechanism plays the leading role in depth perception, and its violations lead to a shift towards the monocular. In this regard, one of the relevant areas of ophthalmology and neurophysiology is the study of the features of monocular depth estimation in normal conditions and cases of ophthalmic pathology. **Purpose:** to study the literature data on the monocular depth estimation mechanism, methods of its assessment, as well as the peculiarities of its manifestations in normal conditions and cases of ophthalmic pathology. **Materials and methods.** The literature analysis of publications on PubMed, eLibrary, Cyberleninka and crossref metadata search was carried out. **Results.** The review considers modern ideas regarding monocular depth cues that can ensure the effective operation of the monocular mechanism of spatial vision. The stereokinetic effect (SE) is considered in detail. The possibilities of using SE assessment methods to evaluate the state of spatial vision mechanisms in cases of ophthalmic and neurological pathology have been studied. **Conclusion.** There are a number of monocular depth cues that can ensure the effective operation of the monocular mechanism of spatial vision, such as: perspective, light and color effects, accommodation and knowledge of the true sizes of the objects acquired with experience. Stereokinetic effect caused by the successive displacement of projections of circular eccentric images on the retina, which allows to evaluate relationship of monocular and binocular mechanisms of spatial perception, has a particular importance for ophthalmology practice. In patients with binocular vision disorders (amblyopia and strabismus), a decrease in monocular and an increase in binocular SE indicators were observed, whereas only a decrease in monocular indicators is more typical for organic ocular fundus pathology. At the same time, changes in SE indicators can serve as additional criteria for evaluating the efficacy of functional treatment of binocular disorders.

Key words: *monocular mechanisms of spatial perception, monocular depth cues, stereokinetic effect, motion parallax, structure from motion*

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. Monocular depth estimation (literature review). The EYE GLAZ. 2022;24(1):43–54. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2022-1-43-54>

Received: 12.06.2021

Accepted: 20.12.2021

Published: 30.03.2022

© Rychkova S.I., Likhvantseva V.G., 2022.

Актуальность

Процесс зрительного восприятия пространства является сложным системным актом, включающим прием зрительного сигнала, анализ его признаков, сравнение с имеющимся «внутренним эталоном», создание адекватных гипотез о характере стимула и отнесение его к определенной категории [1–5].

Физиологическую основу пространственного восприятия традиционно относят к бинокулярной системе, интегрирующей сигналы, поступающие в мозг от каждого глаза, в единый образ трехмерного внешнего мира. Между тем, восприятие трехмерности возможно и за счет эволюционно более древней монокулярной системы пространственного восприятия, позволяющей человеку оценивать трехмерность пространства за счет монокулярных признаков глубины [1–4].

Разница монокулярных и бинокулярных (при двух открытых глазах) условий наблюдения состоит в том, что в монокулярных условиях «работает» только монокулярный механизм пространственного зрения, а в бинокулярных «работают» оба механизма – монокулярный и бинокулярный. При этом в норме ведущую роль берет на себя бинокулярный механизм, нарушения которого приводят к сдвигу «силовых отношений» в сторону монокулярного [5].

Цель: изучить данные литературы, посвященной монокулярному механизму оценки глубины, способам его исследования, а также особенностям его проявлений в норме и при офтальмопатологии.

Материалы и методы. Проведен анализ публикаций на ресурсах PubMed, eLibrary, Cyberleninka, Crossref metadata search.

Результаты

Исследование физиологических механизмов восприятия пространства в норме, а также у людей с офтальмологической и неврологической патологией затрагивает различные области знаний. Разные специалисты (нейрофизиологи, художники, дизайнеры, архитекторы, программисты и т.д.), занимаясь вопросами пространственного зрения, выделяют более десятка монокулярных признаков глубины [6–12]. Остановимся подробнее на наиболее значимых монокулярных признаках глубины.

Геометрические перспективные трансформации – по мере удаления от наблюдателя величина проекций объектов на сетчатке глаза уменьшается и контуры фигур меняются в зависимости от ракурса.

Окклюзия – более близкие к наблюдателю объекты заслоняют более удаленные.

Близость к горизонту – более удаленные от наблюдателя объекты располагаются ближе к линии горизонта.

Градиент текстуры – по мере удаления от наблюдателя плотность элементов текстуры увеличивается [4, 6].

Светотень – градации освещения дают представление о форме предмета. Заметим, в естес-

твенных условиях наблюдения световой поток, исходящий от одного источника в каком-либо направлении, падает обыкновенно не на одну, а на множество разнообразных по форме и окраске поверхностей, располагающихся под разнообразными углами по отношению к источнику света. В результате возникает сложная комбинация распределения света и теней. Ситуация усложняется, если предмет освещается не одним, а несколькими источниками света.

В случае расположения источника света сверху более освещенной является верхняя часть предмета, а затененные части предметов освещены отраженным светом. При этом светотень, распределяющаяся по поверхности предмета, служит основным средством объемно-пространственного моделирования формы (рис. 1) [11].

Светлота как освещенной, так и затененной части зависит от того, под каким углом падают на поверхность лучи света. Часть освещенной поверхности, отражающей лучи света под прямым углом, называют **бликом**, а затененной – **рефлексом**.

Отличие «падающей» тени от «собственной» состоит в том, что ее отбрасывает какой-либо предмет на какой-либо фон. Падающая тень соответствует форме предмета, от которого образуется, но ее очертания меняются в зависимости от того, под каким углом к предмету и на каком расстоянии от него находится источник освещения [11].

Перспектива – способы изображения пространственных объектов на плоскости или какой-либо поверхности в соответствии с теми кажущимися сокращениями их размеров, изменениями формы и светотеневых отношений, которые наблюдаются в естественных условиях [4, 6, 8, 9, 11, 12].

Различают следующие виды перспективы: линейную (прямую и обратную), фронтальную, угловую, панорамную, плафонную, сферическую, аксонометрию, цветовую (тональную), воздушную.

Прямая линейная перспектива – вид перспективы, рассчитанный на фиксированную точку наблюдения и предполагающий единую точку схода на линии горизонта. При этом предметы уменьшаются и сближаются пропорционально по мере удаления их от переднего плана (например, постепенно сближающиеся по мере их удаления рельсы).

Обратная линейная перспектива – особый вид перспективы, применяемый в византийской и древнерусской живописи, при которой изображенные предметы представляются увеличивающимися по мере удаления от зрителя. Древнерусские живописцы рисовали линии, уходящие вдаль расходящимися, а не сходящимися, то есть в обратной перспективе. Этот прием создает впечатление, что центр схождения линий находится не на горизонте, а внутри самого зрителя.

Сферическая перспектива – особый способ организации изображаемого пространства на плоскости картин или росписи стен, свода, купола. Он заключается в создании иллюзорного углубления или выпу-

клости зрительного центра, совпадающего с геометрическим центром композиции, и расположении остальных элементов в воображаемом сферическом пространстве (рис. 2) [8, 11, 12].

Принципы **фронтальной перспективы** часто использовали в своих произведениях итальянские художники эпохи Возрождения. Для создания эффекта глубины они применяли законы линейной перспективы для боковых деталей картины, а центральные части изображения соответствовали фронтальной плоскости (рис. 3) [12]. Фронтальная перспектива используется также при создании театральных декораций.

Угловая перспектива соответствует зрительному восприятию под определенным углом зрения. Принципы угловой перспективы часто используют архитекторы (рис. 4) [8, 9].

При угловой перспективе все видимые части изображения видны в определенных ракурсах. Угловую перспективу используют и в создании зрительных иллюзий с эффектом объема, возникающего при рассматривании плоских изображений под определенным углом зрения (рис. 5) [8, 9].

Панорамная перспектива – изображение, строящееся на внутренней поверхности цилиндра или шара. При рассматривании панорам зри-

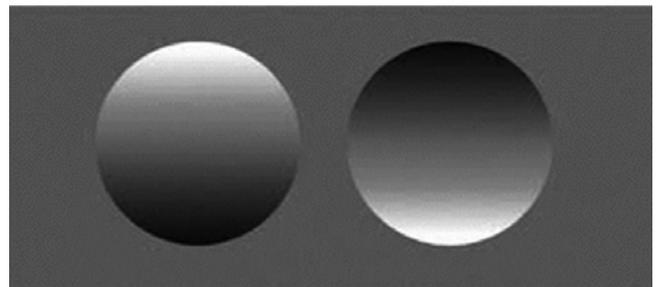


Рис. 1. Восприятие объема фигуры в зависимости от предполагаемого расположения источника освещения (сверху – в левой части рисунка и снизу – в правой части). Если рисунок перевернуть, воспринимаемый объем изменится на противоположный [11]

Fig. 1. Perception of the volume of the figure depending on the intended location of the source of light (top on the left side of the figure and bottom on the right side). If the figure is flipped, the perceived volume will change to the opposite [11]

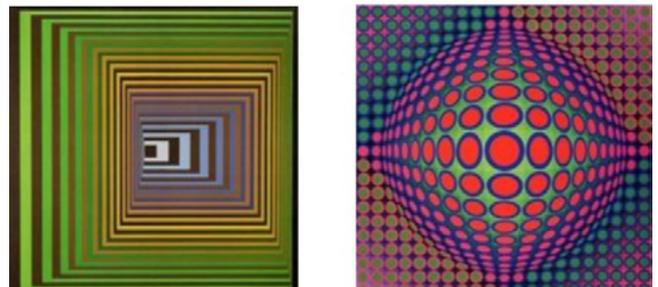


Рис. 2. Примеры использования прямой линейной (слева) и сферической (справа) перспектив в зрительных иллюзиях В. Вазарелли [8]

Fig. 2. Examples of using straight linear (left) and spherical (right) perspectives in V. Vasarelli's visual illusions [8]

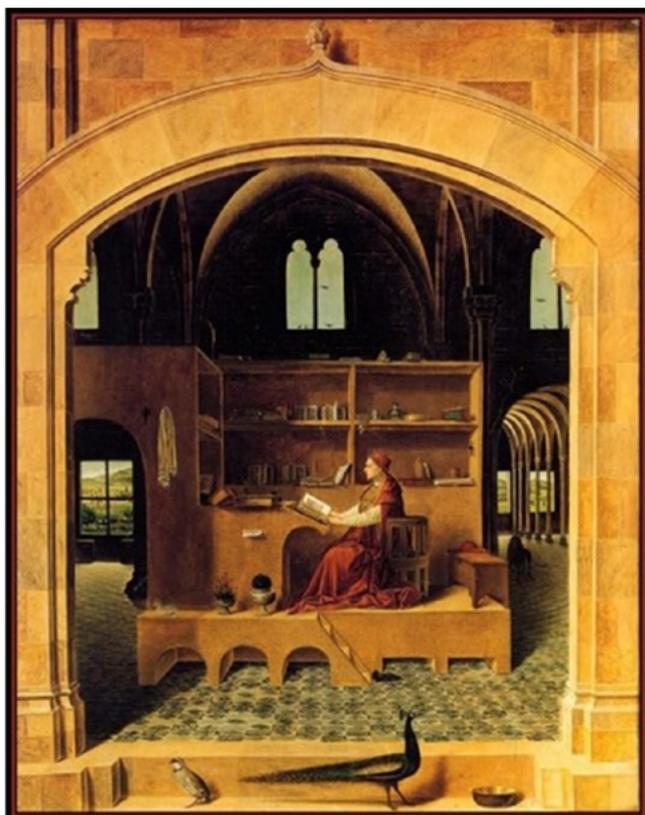


Рис. 3. Пример использования фронтальной перспективы («Св. Иероним в келье» Антонелло да Мессина (около 1475 г.)) [12]

Fig. 3. An example of the use of frontal perspective ("St. Jerome in his Study" by Antonello da Messina (circa 1475)) [12]

тель должен находиться в центре круглого помещения, а панорамные изображения на стене такого помещения обычно объединяют с находящимися перед ней реальными предметами для усиления эффекта глубины [12].

Цветовая (тональная перспектива) – изменения цветового тона объектов в зависимости от их расположения по глубине. При этом ощущение выступающих поверхностей создают теплые, насыщенные цвета и их контрастные сочетания, а впечатление отступающих поверхностей – холодные, разбавленные серым цвета и размытые границы [10].

Под **воздушной перспективой** понимают изменения цвета, четкости линий и уровня освещенности удаленных объектов за счет воздушной среды. Объекты, расположенные на ближнем расстоянии, воспринимаются более четкими по сравнению с удаленными. Цвета удаленных объектов имеют голубоватый оттенок [11].

Большое значение для оценки удаленности объектов имеет **аккомодация**. При этом фиксируемые взглядом объекты видны наиболее четко благодаря работе аккомодации, точно настраивающей оптическую систему глаза на необходимое расстояние [3].

Приобретенное с опытом знание истинных размеров видимых объектов позволяет судить о том, какой из них ближе, а какой дальше при одинаковой величине проекций на сетчатке [3, 4].



Рис. 4. Примеры угловой перспективы, используемой в архитектуре [8]

Fig. 4. Examples of angular perspective used in architecture [8]



Рис. 5. Пример использования принципа угловой перспективы для создания зрительных иллюзий (железнодорожный вокзал в г. Мюнхене (фотография авторская))

Fig. 5. An example of using the principle of angular perspective to create visual illusions (railway station in Munich (photo courtesy of the author))

Рассмотренные выше монокулярные признаки глубины могут создавать достаточно выраженное ощущение глубины как в бинокулярных, так и в монокулярных условиях наблюдения, особенно если несколько монокулярных признаков действуют в совокупности.

Наиболее «сильным» монокулярным механизмом пространственного зрения является **анализ последовательного относительного смещения точек проекций наблюдаемых объектов на сетчатке одного глаза**. При этом за счет зрительной инерции на сетчатке получается последовательность «кадров», которые могут объединяться на уровне ЦНС в стереопары [13–19].

В настоящее время в публикациях, относящихся к исследованию данного явления, авторы используют близкие по смыслу термины: 1) «стереокинетический эффект» (stereokinetic effect), 2) «кинетический эффект глубины» (kinetic depth effect) или «структура из движения» (structure from motion), 3) «параллакс движения» (motion parallax) [14].

Под термином **«стереокинетический эффект» (СЭ)** понимают ощущение глубины, возникающее при вращении плоских эллиптических или кольцевых изображений со смещенным центром [14]. Наиболее раннее описание СЭ, возникающего при наблюдении вращающихся эллиптических и кольцевых фигур со смещенным центром, было сделано С. Musatti в 1955 году [14, 20].

В исследованиях СЭ, проведенных G. T. Fischer в 1956 году с использованием вращающихся рисованных кольцевых изображений, было обнаружено усиление СЭ в монокулярных условиях наблюдения, а также при увеличении эксцентриситета тестового изображения (смещения центра кольцевых элементов относительно центра изображения) [13, 14]. В работе В. А. Wieland и R. В. Mefferd в 1968 году было показано усиление СЭ при увеличении скорости вращения тестового изображения [21].

В результате ряда исследований, проведенных на кафедре физиологии Иркутского государственного университета под руководством Л. Н. Могилева в 1970–1980-х гг., были получены результаты, свидетельствующие о влиянии на количественную оценку СЭ таких факторов, как условия наблюдения (монокулярные или бинокулярные), скорость вращения изображения и его эксцентриситет, расстояние до стимула, освещенность и характер освещения (непрерывное или импульсное). В качестве тест-объектов исследователи использовали плоские рисованные кольцевые изображения, структурные стимулы и киноизображения (рис. 6–8) [1, 2, 22].

В серии экспериментов с плоскими кольцевыми тест-объектами принимали участие 100 взрослых (в возрасте от 18 до 20 лет) испытуемых без офтальмопатологии. При использовании вращающегося с одной скоростью (60 об/мин) плоского кольцевого изображения иллюзия глубины возникала в виде виртуального конуса или виртуальной воронки. Для количественной оценки СЭ использовали эталоны в виде бумажных конусов (высотой 5, 10, 15, 20 и 25 см), с которыми испытуемый мог сравнить возникающее у него ощущение объемной фигуры. Было показано увеличение воспринимаемого объема виртуальной фигуры с 5–10 до 25–30 см при увеличении эксцентриситета от 0,18 до 0,9 соответственно [1, 2, 22]. При этом у всех испытуемых данные показатели в монокулярных условиях наблюдения (один глаз фиксировал тест-объект, а второй прикрыт заслонкой) были на 5–10 см выше, чем в бинокулярных (при двух открытых глазах). Разницы показателей при фиксации тест-объекта ведущим и неведущим глазом отмечено не было [1, 2].

При сравнительной оценке влияния расстояния наблюдения на выраженность СЭ в той же группе испытуемых при вращении плоского кольцевого изображения с эксцентриситетом 0,36 и скоростью 60 об/мин было показано увеличение СЭ в большинстве случаев с 15 до 20 см при увеличении расстояния с 3 до 6 м соответственно [1].

Анализ зависимости СЭ от скорости вращения кольцевых изображений с разным эксцентриситетом (от 0,18 до 0,9) показал усиление СЭ у всех испытуемых при увеличении скорости вращения от 2 до 60 об/мин со всеми используемыми эксцентриситетами. При более высоких скоростях вращения структура изображения у всех испытуемых становилась более размытой, и воспринимаемый объем ее уменьшался [1, 2, 22].

REVIEWS



Рис. 6. Кольцевое тестовое изображение: 1 – радиус изображения, 2 – смещение центра кольцевых элементов относительно центра изображения [1, 2]

Fig. 6. Ring test image: 1 – image radius, 2 – displacement of the center of the ring elements relative to the center of the image [1, 2]

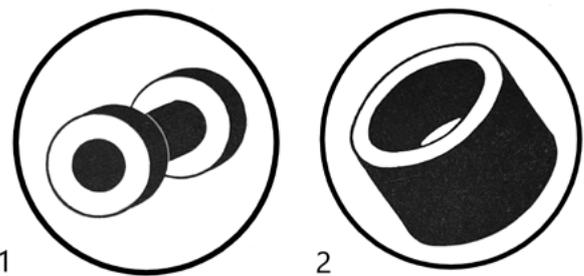


Рис. 7. Структурные тестовые изображения: 1 – «штанга», 2 – «кольцо» [1]

Fig. 7. Structural test images: 1 – “hand weight”, 2 – “ring” [1]

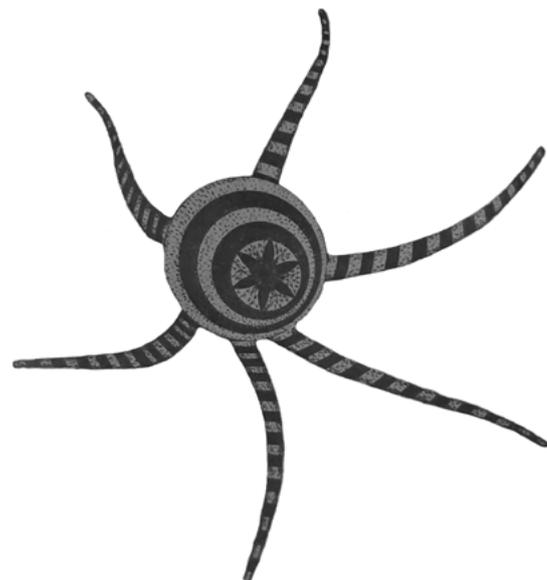


Рис. 8. Сложное мультипликационное изображение, дающее эффект волнообразного колебания «лучей» тестовой фигуры [1]

Fig. 8. A complex animated image, resulting in the effect of a wave-like oscillation of “rays” of the test image [1]

В экспериментах по изучению влияния уровня и характера освещения на СЭ принимали участие 30 испытуемых в возрасте от 18 до 25 лет без офтальмопатологии. Было показано, что при вращении кольцевого изображения со скоростью 60 об/мин испытуемые оценивали величину виртуальной объемной фигуры при освещенности 1–2 лк как соответствующую 10–15 см, при освещенности 20–30 лк – 20 см и при освещенности 60–10 лк – 25–30 см [1]. При импульсном освещении (при его уровне 60 лк) те же испытуемые отмечали, что изображение воспринимается плоским при частоте световых импульсов 1–2 Гц, объем появляется при частоте 3–4 Гц, становится максимальным при частоте 5 Гц и уменьшается при дальнейшем увеличении частоты световых импульсов [1].

В экспериментах с использованием структурных тестовых изображений, предъявляемых с расстояния 5 м, все испытуемые той же группы характеризовали их как плоские при неподвижном состоянии и объемные при вращении со скоростью 60 об/мин (рис. 7) [1]. При использовании сложного мультипликационного изображения, созданного на основе кольцевого эксцентричного изображения, те же испытуемые наблюдали эффект волнообразного колебания «лучей» тестовой фигуры (рис. 8) [1].

В более поздних работах, посвященных исследованию СЭ у детей с нарушениями бинокулярного зрения, авторы использовали рисованное кольцевое изображение диаметром 12 см с эксцентриситетом 0,4, прикрепленное к диску, вращающемуся при помощи механического устройства со скоростью 60 об/мин [5, 23]. Вращающийся тест-объект предъявляли каждому ребенку с расстояния 3 м от глаз в бинокулярных и в монокулярных условиях наблюдения. Иллюзия глубины при наблюдении та-

кого вращающегося тест-объекта возникала в виде виртуального конуса или виртуальной воронки. Для количественной оценки СЭ так же, как и в экспериментах Л.Н. Могилева и коллег, использовали эталоны в виде бумажных конусов разной величины, с которыми ребенок мог сравнить возникающее у него ощущение объемной фигуры. Для сравнительного анализа в данных работах принимали во внимание оценку величины только виртуального конуса. Относительное изменение выраженности СЭ при переходе от монокулярных условий наблюдения к бинокулярным определяли при помощи коэффициента K , вычисляемого по формуле: $K = (h_m - h_b)/h_m$, в которой h_m – монокулярная оценка величины виртуального конуса (среднее значение от оценок правого и левого глаз), h_b – бинокулярная оценка величины виртуального конуса [5, 23].

Полученные в этих исследованиях результаты демонстрировали уменьшение оценок величины виртуального конуса при переходе от монокулярных условий наблюдения к бинокулярным (положительные значения коэффициента K) у 96,2% детей с нормальным бинокулярным зрением, и только в некоторых случаях (3,8% детей с бинокулярным зрением) бинокулярные оценки величины виртуального конуса соответствовали монокулярным [23]. В группах детей с рефракционной и обструкционной амблиопией доля детей с отсутствием усиления СЭ в монокулярных условиях составляла 35,6 и 33,4% соответственно. В группе детей с содружественным косоглазием количество детей с одинаковыми показателями СЭ в монокулярных и бинокулярных условиях наблюдения составляло 36,9%, а в остальных случаях наблюдалось даже увеличение бинокулярных показателей (отрицательный коэффициент K) [23]. Анализируя полученные результаты, авторы предположили, что вариабельность выраженности СЭ в монокулярных и бинокулярных условиях наблюдения зависит от степени участия бинокулярной и монокулярной систем в процессе пространственного восприятия [23].

В исследованиях СЭ эффекта у детей с двусторонней врожденной частичной атрофией зрительного нерва (ЧАЗН) использовали кольцевые тестовые изображения диаметром 20 см с разным эксцентриситетом (0,2; 0,4; 0,6 и 0,8), предъявляемые на экране монитора с разной скоростью вращения (от 2 до 90 об/мин) (рис. 9) [24].

В работе показано, что у 63,9% детей с ЧАЗН при наблюдении кольцевого тестового изображения с минимальным эксцентриситетом (0,2), вращающегося с минимальной скоростью (2 об/мин), эффекта глубины не возникало. В контрольной группе количество детей с отсутствием СЭ при тех же условиях наблюдения составляло на 54,8% меньше, чем среди детей с ЧАЗН ($p < 0,001$) [24]. Показано, что при увеличении скорости вращения кольцевого изображения более 30 об/мин СЭ появлялся у всех детей (как в контрольной группе, так и в группе детей с ЧАЗН) при любом использованном в исследовании эксцентриситете. С увеличе-

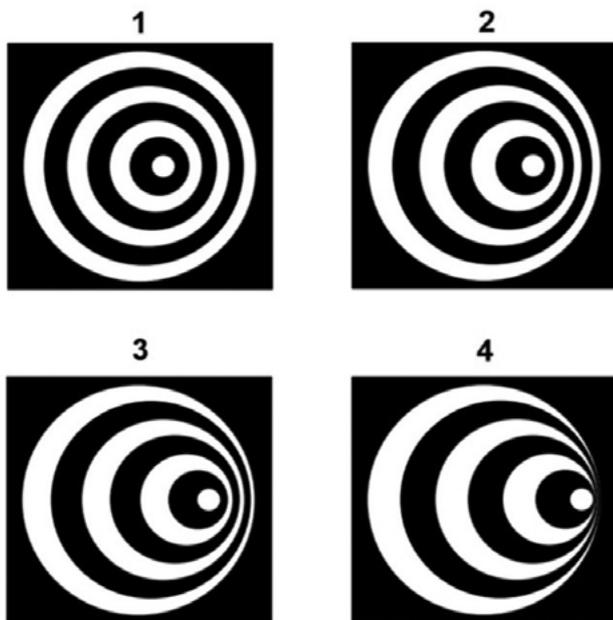


Рис. 9. Стимулы, вызывающие стереокинетический эффект, с эксцентриситетом: 1–0,2; 2–0,4; 3–0,6; 4–0,8 [24]
Fig. 9. Stimuli that cause a stereokinetic effect. Eccentricity values: 1–0,2; 2–0,4; 3–0,6; 4–0,8 [24]

нием скорости вращения тестового изображения до 60–90 об/мин выраженность СЭ у детей с ЧАЗН повышалась, и максимальные значения оценки величины виртуального конуса составляли при этом $14,4 \pm 0,5$ см бинокулярно, $14,5 \pm 0,5$ см – для лучше видящего глаза и $14,4 \pm 0,5$ см – для хуже видящего глаза, в то время как в контрольной группе детей при тех же условиях исследования максимальные значения оценки величины виртуального конуса составляли $15,5 \pm 0,5$ см бинокулярно, $23,9 \pm 0,5$ см – для лучше видящего глаза ($p < 0,001$ по сравнению с детьми с ЧАЗН) и $23,7 \pm 0,1$ см – для хуже видящего глаза ($p < 0,001$ по сравнению с детьми с ЧАЗН) [24]. При этом бинокулярные оценки величины виртуального конуса у всех детей с ЧАЗН были сопоставимы с монокулярными оценками, что свидетельствовало о сдвиге силовых отношений монокулярного и бинокулярного механизмов пространственного зрения в сторону монокулярного [24]. Другой особенностью детей с ЧАЗН являлось восприятие СЭ только в виде конуса в 50–66,7% случаев (в зависимости от эксцентриситета и скорости вращения кольцевого изображения), в то время как для 63,6–90,9% детей контрольной группы (в зависимости от характеристик стимула) было характерно чередование восприятия СЭ в виде виртуального конуса и в виде виртуальной воронки [24].

В недавней работе, посвященной анализу динамики СЭ в результате функционального лечения детей с остаточной микродевиацией (ОМ) после хирургического лечения содружественного косоглазия, была показана возможность использования СЭ в мониторинге силовых отношений бинокулярного и монокулярного механизмов пространственного зрения [25]. В данном исследовании продемонстрирована положительная динамика в виде сдвига этих векторных отношений в сторону усиления бинокулярного механизма в результате функционального лечения оперированного содружественного косоглазия у детей. Функциональное лечение проводили с использованием компьютерной программы, предусматривающей альтернирующее предъявление зрительных стимулов в условиях анаглифного разделения полей зрения. Было показано достоверное увеличение монокулярных оценок высоты виртуального конуса с $22 \pm 1,2$ до $25,8 \pm 0,9$ см ($p < 0,02$) для лучше видящего глаза, с $19,5 \pm 1,2$ до $25,5 \pm 0,9$ см ($p < 0,001$) для хуже видящего глаза и снижение средних значений бинокулярных оценок высоты виртуального конуса с $21,3 \pm 1,2$ до $16,8 \pm 0,9$ см ($p < 0,001$) у детей с ОМ после курса функционального лечения, что свидетельствовало о сдвиге силовых отношений монокулярного и бинокулярного механизмов пространственного зрения в сторону доминирования бинокулярного механизма [5, 22, 25]. Кроме того, было показано, что в результате лечения количество детей с ОМ, воспринимающих СЭ в виде чередующихся виртуальных фигур (конуса и воронки), повысилось с 50 до 83,3% и стало даже немного выше, чем в контрольной группе (79,5% детей) [25].

Термин «**кинетический эффект глубины**» (*kinetic depth effect (KDE)*) впервые использовали Н. Wallach и D. O'Connell для описания иллюзии объемной структуры, создаваемой проекцией (тенью) вращающегося трехмерного объекта [26]. Авторы объясняли эту иллюзию ассоциациями, возникающими в центральных отделах зрительного анализатора между двумерной ретинальной проекцией и трехмерной структурой. Позже S. Ullman описал появление эффекта глубины и ощущения объема при движении проекции двух прозрачных цилиндров, на поверхность которых были нанесены в случайном порядке точки. Он назвал данный зрительный феномен «**структурой из движения**» (*structure from motion (SfM)*), и этот термин получил в дальнейшем более широкое распространение, чем KDE (рис. 10) [27].

При наблюдении двух движущихся объектов, соответствующих одной и той же проекции (структуры, подобной цилиндрам Ульмана), направление вращения может восприниматься неоднозначно, обуславливая возникновение эффекта **бистабильной структуры из движения** (*bistable structure from motion*) [28]. Например, при наблюдении вращающейся прозрачной сферы, поверхность которой состоит из случайно расположенных точек, их смещение вызывает восприятие вращающегося шара. Между тем, можно заметить, что направление вращения сферы может меняться через нерегулярные промежутки времени. Такой эффект возникает за счет того, что движущиеся точки формируют в восприятии наблюдателя поочередно то заднюю поверхность шара, то переднюю, и при этом частота перемены восприятия возрастает, если плотность или скорость смещения точек увеличивается [28, 29].

Под термином «**параллакс движения**» (*motion parallax*) обычно понимают такие ситуации, при которых наблюдатель движется относительно объекта, в отличие от ситуаций SfM, при которых объект движется относительно наблюдателя (рис. 11).

В определенных условиях обе ситуации могут сопровождаться одинаковой зрительной информацией, однако параллакс движения считается более эффективным, чем SfM, для пространственного восприятия, так как интегрируется с проприоцептивной информацией и с эфферентными копиями сигналов от моторных отделов ЦНС [30–32]. В кинематографе принцип параллакса движения используют для усиления эффекта глубины путем плавного перемещения камеры относительно объекта съемки.

Огромный интерес для современной нейрофизиологии и офтальмологии представляет проблема изучения нейронных структур и механизмов, участвующих в организации пространственного зрения [33–40].

В результате многочисленных экспериментов на животных, а также анализа зрительных эффектов у пациентов с неврологической патологией была показана роль различных анатомо-функциональных структур (в частности верхнего двухол-

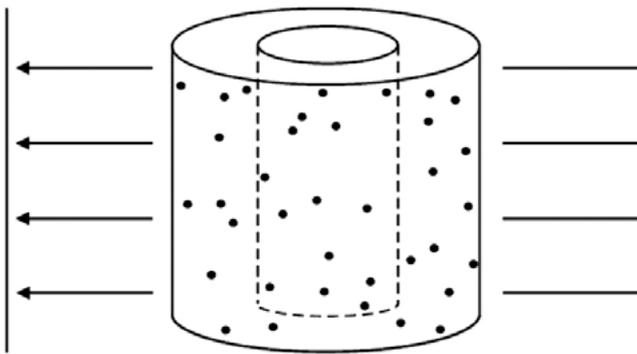


Рис. 10. Цилиндр Ульмана – два вставленных друг в друга прозрачных цилиндра с точками на поверхностях, освещенных с правой стороны и имеющих ортографическую проекцию на экран слева [14, 27]

Fig. 10. Ullman's cylinder – a side view of two nested cylinders exclusively defined by dots, illuminated from the right and projected orthographically onto a screen on the left [14, 27]



Направление движения наблюдателя
The direction of movement of the observer

Рис. 11. Относительное смещение ближних объектов (турникет) против направления движения, а дальних (дерево) по направлению движения (фотографии авторские)

Fig. 11. Relative displacement of nearby objects (turnstile) against the direction of movement, and distant objects (tree) in the direction of movement (photo courtesy of the author)

мия, проекционных и ассоциативных зон коры, проприоцептивной иннервации, структур управления движениями глаз) в восприятии глубины. Было сделано предположение, что проприоцептивная сигнализация от глазных мышц необходима для перестройки динамических связей между нейронами зрительной коры, избирательно чувствительных к изменению удаленности объекта [1, 2].

Так, например, в работах, посвященных изучению стереокинетического эффекта у взрослых пациентов с неврологической патологией, авторы отмечали влияние локализации поражений головного мозга на характеристики СЭ. При сравнении выраженности СЭ в монокулярных и бинокулярных условиях наблюдения в группе 76 пациентов с но-

воображениями головного мозга в затылочной области (16 пациентов), теменно-височной (32 пациента), лобной (21 пациент) и области среднего мозга (7 пациентов) было показано, что наибольшее влияние на взаимоотношения механизмов пространственного зрения в сторону усиления монокулярного оказывают поражения затылочной области коры, при которых бинокулярный механизм страдает в большей степени, чем монокулярный [2]. Для больных с поражениями лобной области и среднего мозга была характерна неоднозначность и изменчивость результатов оценки СЭ, что могло свидетельствовать о нарушениях ассоциативных процессов обработки зрительной и проприоцептивной информации [2].

В настоящее время продолжается активное исследование анатомо-физиологических структур, предположительно участвующих в обеспечении стереокинетического эффекта, SfM и параллакса движения. Так, например, в экспериментах на животных установлено, что нейроны средней височной области макаки сочетают обработку информации о движении сетчаточного изображения с анализом командных сигналов о плавном движении глаз, что необходимо для определения знака глубины (ближе/дальше) [36]. В экспериментах на обезьянах было установлено также, что большинство нейронов средней височной области избирательны по знаку глубины как в ответ на сигналы о бинокулярной диспаратности, так и на сигналы о параллаксе движения. При этом 56% нейронов являются конгруэнтными (congruent cells) – определяют знак глубины как в случае бинокулярной диспаратности, так и в случае параллакса движения. Остальные 44% нейронов определяют объект как ближе расположенный, исходя из информации о параллаксе движения; как дальше расположенный – из информации о бинокулярной диспаратности, и наоборот. Такие нейроны были названы противоположными (opposite cells). Показано, что конгруэнтные клетки в отличие от оппозитных могут участвовать в перцептивной интеграции сигналов о глубине. Полученные данные позволили авторам предположить, что средняя височная область участвует в построении трехмерной сцены, используя многочисленные сигналы глубины [37].

Таким образом, наряду с наиболее совершенным бинокулярным механизмом пространственного зрения существует также ряд монокулярных признаков глубины, способных обеспечить эффективную оценку пространственной локализации объекта и его трехмерной формы [1–12, 14].

В норме бинокулярный механизм пространственного зрения является доминирующим, работая содружественно с монокулярным. Однако в условиях, когда функционирование бинокулярной системы невозможно или нарушено, монокулярный механизм пространственного зрения может стать ведущим [1–5].

При этом, с точки зрения возможностей использования в клинической практике, среди моноку-

лярных признаков глубины особого внимания заслуживает СЭ, возникающий в результате анализа на уровне центрального отдела зрительного анализатора последовательного смещения на сетчатке проекций плоских кольцевых или эллиптических изображений, обладающих эксцентриситетом [13–25]. Исследования проявлений и выраженности СЭ при различных условиях наблюдения, начатые нейрофизиологами в группах офтальмологически и неврологически здоровых взрослых испытуемых, были затем продолжены у взрослых пациентов с неврологической патологией, а также в группах пациентов детского возраста с различными нарушениями бинокулярного зрения и органической патологией глазного дна. В результате экспериментальных исследований СЭ в различных группах детей и взрослых было выявлено усиление СЭ при переходе от бинокулярных условий наблюдения к монокулярным, увеличению эксцентриситета и скорости вращения тестовых изображений [1, 2, 23–25].

Между тем, были выявлены особенности проявления СЭ как у взрослых, так и у детей при нарушениях бинокулярного зрения и неврологической патологии. Эти особенности характеризуются прежде всего уменьшением или исчезновением разницы между бинокулярными и монокулярными оценками СЭ (как за счет повышения бинокулярных оценок, так и за счет снижения монокулярных) у детей с нарушениями бинокулярного зрения при амблиопии и косоглазии [23, 25]. Объяснением данному явлению может служить сдвиг силовых отношений между монокулярным и бинокулярным механизмами пространственного зрения в сторону монокулярного. Характеристики СЭ при таком состоянии зрительной системы соответствуют доминирующему монокулярному механизму [5, 23, 25].

При органической патологии глазного дна, как показано при исследовании СЭ у детей с ЧАЗН, уменьшение разницы между монокулярными и бинокулярными оценками происходит за счет снижения монокулярных оценок [24]. Необходимость в более высокой скорости вращения и более выраженном эксцентриситете для возникновения СЭ у детей с ЧАЗН по сравнению с детьми контроля можно, вероятно, объяснить сниженной по сравнению с нормой зрительной афферентацией, что связано с более широкими рецептивными полями и нарушениями проведения импульсов по зрительному нерву при данной патологии [38].

Кроме того, к особенностям СЭ у детей как с функциональной, так и с органической офтальмопатологией можно отнести уменьшение доли детей, отмечающих чередование воспринимаемых виртуальных фигур (либо в виде виртуального конуса, либо в виде виртуальной воронки), и соответствующее увеличение количества детей, воспринимающих виртуальную фигуру только как конус по сравнению с детьми без офтальмопатологии [24, 25]. Опираясь на результаты исследований, посвященных бинокулярной конкуренции

(проявляющейся в соперничестве полей зрения в бинокулярных условиях наблюдения), и исследований восприятия бистабильных (реверсивных или неоднозначных) изображений, которые могут быть видны попеременно в одном из двух состояний как при монокулярном, так и при бинокулярном наблюдениях, некоторые авторы предполагают общность механизмов, лежащих в основе данных явлений [14, 29, 39, 40]. В связи с этим можно считать вероятным единство механизмов, лежащих в основе бинокулярной конкуренции, восприятия неоднозначных фигур и способности к восприятию СЭ то в виде виртуального конуса, то в виде виртуальной воронки.

Выводы

1. Существует ряд монокулярных признаков глубины, способных обеспечить эффективную работу монокулярного механизма пространственного зрения, таких как геометрические трансформации, различные виды перспективы, световые и цветовые эффекты, аккомодация, приобретенное с опытом знание истинных размеров объектов, анализ последовательного относительного смещения точек проекций наблюдаемых объектов на сетчатке.

2. Особое значение для офтальмологической практики имеет СЭ, вызываемый последовательным смещением на сетчатке проекций кольцевых эксцентрических изображений, позволяющий оценивать силовые отношения монокулярных и бинокулярных механизмов пространственного зрения.

3. В норме у детей и взрослых бинокулярный механизм пространственного зрения является доминирующим, работая содружественно с монокулярным, но при нарушениях функционирования бинокулярной системы силовые отношения механизмов пространственного зрения сдвигаются в сторону монокулярного.

4. У детей с нарушениями бинокулярного зрения при амблиопии и косоглазии наблюдается уменьшение монокулярных и повышение бинокулярных показателей СЭ, а для детей с органической патологией глазного дна (в частности частичной атрофией зрительного нерва) более характерно только снижение монокулярных показателей.

5. Дети как с функциональной, так и с органической офтальмопатологией чаще воспринимают СЭ в виде только виртуального конуса, в отличие от детей без зрительных нарушений, у которых преобладающим видом СЭ является чередование виртуального конуса и виртуальной воронки.

6. Изменения показателей СЭ могут служить дополнительными критериями оценки эффективности функционального лечения детей с содружественным косоглазием.

7. Исследование характеристик СЭ является перспективным в отношении диагностики и мониторинга состояния механизмов пространственного зрения не только при офтальмологической, но и при неврологической патологии.

Вклад авторов: авторы внесли равный вклад в эту работу.

Концепция и дизайн исследования, обзор литературы, анализ и интерпретация данных, анализ изображений, написание статьи, финальное редактирование: С.И. Рычкова (50%), В.Г. Лихванцева (50%).

Литература

1. Могилев Л.Н. Механизмы пространственного зрения. М.: Наука; 1982. 112 с.
2. Рычков И.Л. Пространственное зрение человека и животных. Иркутск: Издательство Иркутского Университета; 1990. 216 с.
3. Рожкова Г.И., Матвеев С.Г. Зрение детей: проблемы оценки и функциональной коррекции. М.: Наука; 2007. 315 с.
4. Рожкова Г.И., Алексеенко С.В. Зрительный дискомфорт при восприятии стереоскопических изображений как следствие непривычного распределения нагрузки на разные механизмы зрительной системы. Мир техники кино. 2011;21(3):12–21.
5. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н. Взаимодействие бинокулярного и стереокинетического механизмов восприятия глубины у детей с нормальным и нарушенным бинокулярным зрением. Сенсорные системы. 2001;15(1):61–68.
6. Перельман Я.И. Занимательная физика. СПб.: Азбука, Азбука-Аттикус; 2021. 272 с.
7. Толанский С. Оптические иллюзии. М.: Мир; 2005. 130 с.
8. Иванова А.С., Финк Д. Приемы формирования виртуальной реальности в работах Виктора Вазарелли по дизайну городской среды. Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018;8(4):218–233. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-4-218-233>
9. Ninio J. L'empreinte des sens. Paris: Odile Jacob; 2011. 281 p.
10. Фарафонова А.С., Алексеева Е.Н. Развитие абстракционизма и его отраслевые направления. Синергия наук. 2018;30:2221–2226.
11. Зайцев А.С. Наука о цвете и живопись. – М.: Искусство; 1986. 158 с.
12. Филиппов С. Что мы видим в глубине картины? Природа и функции пространственности в плоских визуальных искусствах. Артикульт. 2011;1:1–57. Доступно по: http://articult.rsu.ru/upload/articult/journal_content/001/ARTICULT-01_1-2011,P.188-243-Filippov.pdf
13. Fischer G.T. Factors affecting estimation of depth with variations of the stereokinetic effect. Amer J Psychol. 1956;69:252–257.
14. Vezzani S., Kramer P., Bressan P. Stereokinetic effect, kinetic depth effect, and structure from motion. In The Oxford Handbook of Perceptual Organization. Oxford University Press. Oxford UK; 2014. 26 p.
15. Bista S., Leitao da Cunha I.L., Varshney A. Kinetic depth images: flexible generation of depth perception. The Visual Computer. 2017;33:1357–1369. <https://doi.org/10.1007/s00371-016-1231-2>
16. Howard I.P., Fujii Y., Allison R.S. Interactions between cues to visual motion in depth. J Vis. 2014 Feb 19;14(2):14. <https://doi.org/10.1167/14.2.14>. PMID: 24554479.
17. Thompson L. et al. Contributions of binocular and monocular cues to motion-in-depth perception. Journal of vision. 2019;19(3):2–12. <https://doi.org/10.1167/19.3.2>
18. Albertazzi L. Stereokinetic shapes and their shadows. Perception. 2004;33:1437–1452. <https://doi.org/10.1068/p5284>
19. Ming Y. et al. Deep learning for monocular depth estimation: A review. Neurocomputing. 2021:43814–33.
20. Musatti C.L. La stereocinesi e il problema della struttura dello spazio visibile. Rivista di Psicologia. 1955;49:3–57.
21. Wieland B.A., Mefferd R.B. Perception of depth in rotating objects: Asim-metry and velocity as the determi-

Authors' contributions: authors have contributed equally to this work.

Literature review, data analysis and interpretation, imaging analysis, manuscript editing, final editing: S.I. Rychkova (50%), V.G. Likhvantseva (50%).

References

1. Mogylev L.N. Mechanizmy prostranstvennogo zreniya [Mechanisms of spatial vision]. Moscow: Nauka; 1982. 112 p.
2. Rychkov I.L. Prostranstvennoe zrenie cheloveka i zivotnykh [Spatial vision of humans and animals]. Irkutsk: Irkutsk University Publishing; 1990. 216 p.
3. Rozhkova G.I., Matveev S.G. Zrenie detei: problemy otsenki i funkcional'noi korrektsii [Children's vision: problems of assessment and functional correction]. Moscow: Nauka; 2007. 315 p.
4. Rozhkova G.I., Alekseenko S.V. Visual discomfort in the perception of stereoscopic images as a result of an unusual load distribution on different mechanisms of the visual system. The world of cinema technology. 2011;21(3):12–21.
5. Rozhkova G.I., Vasilyeva N.N. Interaction of binocular and stereokinetic mechanisms of depth perception in children with normal and impaired binocular vision. Sensory systems. 2001;15(1):61–68.
6. Perel'man Y.I. Zanimatel'naya fizika [Entertaining physics]. Saint Petersburg: Azbuka, Azbuka-Atticus; 2021. 272 p.
7. Tolanskii S. Optical illusions. Moscow: Mir; 2005. 130 p.
8. Ivanova A.S., Fink D. Methods of forming virtual reality in the works of Victor Vasarelli on the design of the urban environment. University News. Investment. Construction. Realty. 2018;8(4):218–233. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-4-218-233>
9. Ninio J. L'empreinte des sens. Paris: Odile Jacob; 2011. 281 p.
10. Farafonov A.S., Alekseeva E.N. The development of abstractionism and its branch directions. Synergy of Sciences. 2018;30:2221–2226.
11. Zaitsev A.S. Nauka o tsvete i jivopisi [The science of color and painting]. Moscow: Art; 1986. 158 p.
12. Filippov S. What do we see in the depth of the picture? The nature and functions of spatiality in flat visual arts. Artecult. 2011;1:1–57. Available: http://articult.rsu.ru/upload/articult/journal_content/001/ARTICULT-01_1-2011,P.188-243-Filippov.pdf
13. Fischer G.T. Factors affecting estimation of depth with variations of the stereokinetic effect. Amer J Psychol. 1956;69:252–257.
14. Vezzani S., Kramer P., Bressan P. Stereokinetic effect, kinetic depth effect, and structure from motion. In The Oxford Handbook of Perceptual Organization. Oxford University Press. Oxford UK; 2014. 26 p.
15. Bista S., Leitao da Cunha I.L., Varshney A. Kinetic depth images: flexible generation of depth perception. The Visual Computer. 2017;33:1357–1369. <https://doi.org/10.1007/s00371-016-1231-2>
16. Howard I.P., Fujii Y., Allison R.S. Interactions between cues to visual motion in depth. J Vis. 2014 Feb 19;14(2):14. <https://doi.org/10.1167/14.2.14>. PMID: 24554479.
17. Thompson L. et al. Contributions of binocular and monocular cues to motion-in-depth perception. Journal of vision. 2019;19(3):2–12. <https://doi.org/10.1167/19.3.2>
18. Albertazzi L. Stereokinetic shapes and their shadows. Perception. 2004;33:1437–1452. <https://doi.org/10.1068/p5284>
19. Ming Y. et al. Deep learning for monocular depth estimation: A review. Neurocomputing. 2021:43814–33.
20. Musatti C.L. La stereocinesi e il problema della struttura dello spazio visibile // Rivista di Psicologia. 1955;49:3–57.
21. Wieland B.A., Mefferd R.B. Perception of depth in rotating objects: Asim-metry and velocity as the determi-

- nants of the stereokinetic effect. *Percept and Mot Skills*. 1968;26(3):671–681.
22. Mogylev L.N., Rychkov I.L., Rizolatti G. Alcune osservazioni sui fenomeni stereocinetici. *Boll. Soc. Italiana Biologia Sperimentale*. 1978;5(18):1763–1768.
 23. Рычкова С.И., Васильева Н.Н. Взаимоотношение монокулярных и бинокулярных механизмов пространственного восприятия при разных видах амблиопии. *Сенсорные системы*. 2011;2:119–130.
 24. Рычкова С.И., Сандимиров Р.И., Кособуцкая Л.В. Зависимость стереокинетического эффекта от скорости вращения и эксцентриситета тестового изображения у детей с частичной атрофией зрительного нерва. *Физиология человека*. 2019;45(4):13–22. <https://doi.org/10.1134/S0131164619040143>
 25. Рычкова С.И., Лихванцева В.Г. Взаимоотношения монокулярного и бинокулярного механизмов пространственного восприятия до и после функционального лечения у детей с послеоперационной остаточной микродевиацией. *Офтальмохирургия*. 2019;4:42–49. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2019-4-42-49>
 26. Wallach H., O'Connell D. The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*. 1953;45(4):205–217.
 27. Ullman S. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Science*. 1979;203:405–426.
 28. Liu Y. et al. Blind stereoscopic image quality assessment accounting for human monocular visual properties and binocular interactions. *IEEE Access*. 2020;8:33666–33678.
 29. Pastukhov A., Zaus C.R., Aleshin S. et al. Perceptual coupling induces co-rotation and speeds up alternations in adjacent bi-stable structure-from-motion objects. *Journal of Vision*. 2018;18:1–14. <https://doi.org/10.1167/18.4.21>
 30. Ferris S.H. Motion parallax and absolute distance. *J Exptl Psychol*. 1972;95(2):258–263.
 31. Holmin J., Nawro M. Motion parallax thresholds for unambiguous depth perception. *Vision Research*. 2015;115:40–47. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.07.002>
 32. Shindler A., Bartels A. Motion parallax links visual motion areas and scene regions. *Neuroimage*. 2016;125:803–812. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.66>
 33. Ban H. et al. The integration of motion and disparity cues to depth in dorsal visual cortex. *Nature*. 2012;15:636–646. <https://doi.org/10.1038/nn.3046>
 34. Czuba T.B. et al. (2014). Area MT encodes three-dimensional motion. *The Journal of Neuroscienc*. 2014;34(47):15522–15533.
 35. Jiang X., Jiang Y., Parasuraman R. The Visual Priming of Motion-Defined 3D Objects. *PLoS ONE*. 2015;10:e0144730.
 36. Kim H.R., Angelaki D.E., DeAngelis G.C. A functional link between MT neurons and depth perception based on motion parallax. *J Neurosci*. 2015;35:2766–2777. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3134-14.2015>
 37. Nadler J.W., Barbash D., Kim H.R. et al. Joint representation of depth from motion parallax and binocular disparity cues in macaque area MT. *J Neuro-sci*. 2013;33:14061–14074. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0251-13.2013>
 38. Brodsky M.C. Optic atrophy in children. *Pediatric Neuro-Ophthalmology*. 2016. Springer, New York. P. 199–274.
 39. 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 // *Atten Percept Psychophys*. 2015;77:867–882. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0809-x>
 40. Klink P., Van Ee R., Nijs M. et al. Early interactions between neuronal daptational and voluntary control determine perceptual choices in bistable vision. *Journal of Vision*. 2008;8(5):16,1–18. <https://doi.org/10.1167/8.5.16>

- nants of the stereokinetic effect. *Percept and Mot Skills*. 1968;26(3):671–681.
22. Mogylev L.N., Rychkov I.L., Rizolatti G. Alcune osservazioni sui fenomeni stereocinetici. *Boll. Soc. Italiana Biologia Sperimentale*. 1978;5(18):1763–1768.
 23. Rychkova S.I., Vasilyeva N.N. The relationship of monocular and binocular mechanisms of spatial perception in different types of amblyopia. *Sensory systems*. 2011;2:119–130.
 24. Rychkova S.I., Sandimirov R.I., Kosobutskaya L.V. Dependence of the stereokinetic effect on the rotation speed and eccentricity of the test image in children with partial optic nerve atrophy. *Human physiology*. 2019;45(4):13–22. <https://doi.org/10.1134/S0131164619040143>
 25. Rychkova S.I., Likhvantseva V.G. The relationship of monocular and binocular mechanisms of spatial perception before and after functional treatment in children with postoperative residual microdeviation. *Ophthalmosurgery*. 2019;4:42–49. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2019-4-42-49>
 26. Wallach H., O'Connell D. The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*. 1953;45(4):205–217.
 27. Ullman S. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Science*. 1979;203:405–426.
 28. Liu Y. et al. Blind stereoscopic image quality assessment accounting for human monocular visual properties and binocular interactions. *IEEE Access*. 2020;8:33666–33678.
 29. Pastukhov A., Zaus C.R., Aleshin S. et al. Perceptual coupling induces co-rotation and speeds up alternations in adjacent bi-stable structure-from-motion objects. *Journal of Vision*. 2018;18:1–14. <https://doi.org/10.1167/18.4.21>
 30. Ferris S.H. Motion parallax and absolute distance. *J Exptl Psychol*. 1972;95(2):258–263.
 31. Holmin J., Nawro M. Motion parallax thresholds for unambiguous depth perception. *Vision Research*. 2015;115:40–47. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.07.002>
 32. Shindler A., Bartels A. Motion parallax links visual motion areas and scene regions. *Neuroimage*. 2016;125:803–812. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.66>
 33. Ban H. et al. The integration of motion and disparity cues to depth in dorsal visual cortex. *Nature*. 2012;15:636–646. <https://doi.org/10.1038/nn.3046>
 34. Czuba T.B. et al. (2014). Area MT encodes three-dimensional motion. *The Journal of Neuroscienc*. 2014;34(47):15522–15533.
 35. Jiang X., Jiang Y., Parasuraman R. The Visual Priming of Motion-Defined 3D Objects. *PLoS ONE*. 2015;10:e0144730.
 36. Kim H.R., Angelaki D.E., DeAngelis G.C. A functional link between MT neurons and depth perception based on motion parallax. *J Neurosci*. 2015;35:2766–2777. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3134-14.2015>
 37. Nadler J.W., Barbash D., Kim H.R. et al. Joint representation of depth from motion parallax and binocular disparity cues in macaque area MT. *J Neuro-sci*. 2013;33:14061–14074. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0251-13.2013>
 38. Brodsky M.C. Optic atrophy in children / *Pediatric Neuro-Ophthalmology*. 2016. Springer, New York. P. 199–274.
 39. 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 // *Atten Percept Psychophys*. 2015;77:867–882. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0809-x>
 40. Klink P., Van Ee R., Nijs M. et al. Early interactions between neuronal daptational and voluntary control determine perceptual choices in bistable vision. *Journal of Vision*. 2008;8(5):16,1–18. <https://doi.org/10.1167/8.5.16>

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: orcid.org/0000-0001-6764-8950.

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

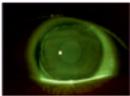
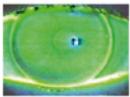
Information about the authors

Svetlana I. Rychkova, Cand. Sci. (Med.), ophthalmologist, Lead researcher of Vision Physiology laboratory of the A.A. Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences; 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: 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: orcid.org/0000-0003-2708-7217.

ТЕСТ-ПОЛОСКИ



		<p>FLUO STRIPS – одноразовые стерильные тест-полоски с флюоресцеином.</p> <p>Область применения: для диагностики повреждений роговицы и конъюнктивы глаза, синдрома сухого глаза. Незаменимы для оценки посадки газопроницаемых роговичных, склеральных и ортокератологических линз.</p> <p>Активное вещество: краситель желтого цвета – низкомолекулярный флюоресцеин.</p>
		<p>LISSAMINE GREEN – одноразовые стерильные тест-полоски с лиссаминовым зеленым.</p> <p>Область применения: для диагностики эпителиальных повреждений роговицы и конъюнктивы глаза. Прокрашивают только поврежденные клетки эпителия, не прокрашивают межклеточное пространство и здоровые клетки. Идеальное средство для прокрашивания эпителиальных повреждений на «красном» глазу. Незаменимы для диагностики синдрома сухого глаза, повреждений эпителия конъюнктивы и роговицы у пользователей мягких и газопроницаемых контактных линз.</p> <p>Активное вещество: краситель зеленого цвета – лиссаминовый зеленый.</p>
		<p>HiGlo STRIPS – одноразовые стерильные тест-полоски с флюоресцеином.</p> <p>Область применения: для определения посадки мягких контактных линз на глазу. Не прокрашивают материал мягких контактных линз.</p> <p>Активное вещество: краситель желтого цвета – высокомолекулярный флюоресцеин.</p>
		<p>ROSE BENGAL – одноразовые стерильные тест-полоски с бенгальским розовым.</p> <p>Область применения: идеальный краситель для диагностики поверхностных повреждений при синдроме сухого глаза.</p> <p>Активное вещество: краситель розового цвета – бенгальский розовый.</p>
		<p>TEAR STRIPS – одноразовые стерильные тест-полоски для теста Ширмера.</p> <p>Область применения: для количественной оценки слезопродукции. Используются при диагностике синдрома сухого глаза.</p>


okvision.ru, info@okvision.ru

+7 (495) 602-05-51