



ВОСПРИЯТИЕ СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ЗРИТЕЛЯМИ С ТАК НАЗЫВАЕМОЙ «СТЕРЕОСЛЕПОТОЙ»



М.А. Грачева, аспирант, Г.И. Рожкова, д.б.н., к.ф.-м.н., профессор,
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Аннотация

Обсуждаются особенности восприятия стереофильмов зрителями с так называемой «стереослепотой» и другими аномалиями стереозрения. Очевидно, что успешно наблюдать все стереозффекты могут лишь зрители с нормальным стереозрением. Однако в настоящее время выясняется, что люди с сильно сниженной остротой стереозрения, и даже клинически стереослепые, способны замечать преимущества 3D фильмов перед обычными 2D фильмами в отношении пространственных впечатлений и могут наблюдать стереозффекты при типичных для стереофильмов значениях бинокулярных параллаксов. В наших экспериментах эта способность была исследована на испытуемых с нормальным стереозрением, «превращаемых в стереослепых» путём искусственного расфокусирования сетчаточных изображений.

Ключевые слова: стереоизображения, пространственное восприятие, острота стереозрения, стереослепота, стереотесты.

PERCEPTION OF STEREO IMAGES BY SUBJECTS WITH SO CALLED «STEREOBLINDNESS»

M. Gracheva, G. Rozhkova

Abstract

Some peculiarities of spatial perception in the case of viewing stereo movies by the spectators with so called «stereoblindness» and other anomalies of stereo vision has been considered. It is obvious that, for successful observation of all stereo effects, the spectators need normal stereo vision. However, at present, it becomes clear that the spectators with significantly lowered stereo acuity and even people with clinical stereoblindness could also notice the advantages of 3D over 2D movies as concerned spatial impressions and could observe stereo effects corresponding to the typical values of binocular parallaxes. In our experiments, this capability was studied on subjects with normal stereo vision «transformed into stereoblind ones» by means of artificial defocusing retinal images.

Keywords: stereo images, space perception, stereo acuity, stereo blindness, stereotests.

Введение

В последние годы зрители стереофильмов, имеющие аномалии стереозрения, начали сообщать о необычных и неожиданных явлениях, наблюдаемых ими во время

киносеансов, а иногда и о последующих изменениях их пространственного восприятия. Так, например, в прессе появились сенсационные заметки о том, что во время сеанса у зрителей «включался» бездействовавший ранее

механизм стереоскопического зрения, обеспечивающий им более высокое качество пространственного восприятия, и что этот механизм оставался затем активно функционирующим в обычной жизни. Одно из сообщений о таком случае называлось соответственно: «Как кино навсегда изменило зрение одного человека» [19]. В этом сообщении речь шла о зрителе 67 лет, у которого бинокулярные механизмы пространственного восприятия, по-видимому, бездействовали (были в «спящем» или заблокированном состоянии?) в течение всей сознательной жизни, а при просмотре стереофильма «Хранитель времени» вдруг активировались, обеспечив другой масштаб пространственных впечатлений не только во время сеанса, но и после него.

Подобные сообщения привлекли внимание к возможности позитивного влияния просмотра стереофильмов на зрителей с нарушенным стереозрением и поставили под сомнение некоторые установившиеся взгляды. По-видимому, настало время для более детального исследования восприятия стереофильмов людьми с различными аномалиями стереозрения и научного обоснования или опровержения утверждений, которые раньше делались из общих соображений.

Хотя и у нас в стране и за рубежом, в отдельных кинотеатрах стереофильмы были доступными для просмотра на протяжении многих десятилетий [2, 3], долгое время они не привлекали заметного внимания прессы и широкой общественности, считаясь экзотикой для любознательного меньшинства. Быстрое внедрение стереопоказа не только в кинотеатрах, но и на телевидении после триумфа «Аватара» привело к бурным дискуссиям по поводу вреда новых 3D технологий для зрения. В связи с возникшим ажиотажем, в научной литературе возросло число статей, посвящённых анализу различий между восприятием обычных фильмов (или фильмов 2D формата) и стереофильмов (3D формата) и обсуждению факторов, которые могут приводить к дискомфорту при восприятии стереофильмов [4, 5, 6, 13, 14, 16, 20, 21]. К настоящему времени часть опасений удалось развеять, часть проблем удалось переформулировать более корректно, и тон обсуждения негативных факторов стал более академическим. В частности, почти достигнут, наконец, консенсус в дискуссии по вопросу о пресловутом конфликте между аккомодацией и конвергенцией как о роковом факторе, избежать вредных последствий которого, якобы, невозможно. Более тщательный анализ показал, что опасность была сильно преувеличена, и что границы дозволенного весьма широки.

Что же касается позитивного воздействия просмотра стереофильмов, то пока на эту тему имеются лишь считанные работы. Такая же ситуация и с работами по восприятию стереофильмов людьми, имеющими аномалии стереовосприятия. Встречаются подробные исследования отдельных пациентов – например, Сюзан Барри написала книгу [7] о том, как она в возрасте 48 лет обрела способность смотреть 3D фильмы. Однако специальные

систематические исследования по этой проблематике практически отсутствуют.

Пока ещё у офтальмологов доминирует точка зрения, что всем зрителям с аномалиями стереовосприятия смотреть стереофильмы нет смысла, и им это делать не рекомендуется. Однако, как выяснилось из опроса лиц с так называемой «стереослепотой», многим из них нравится смотреть стереофильмы, и они получают от них иные впечатления, чем от обычных фильмов. В связи с этим мы решили проанализировать имеющиеся литературные данные по стереослепоте и провести экспериментальное исследование восприятия стереокадров испытуемыми, «превращаемыми» в стереослепых искусственно – путём ухудшения исходно нормального стереозрения до клинической стереослепоты за счёт расфокусировки сетчаточных изображений.

Существующие критерии стереослепоты

Хорошо известно, что наиболее высокую точность пространственного восприятия обеспечивают человеку бинокулярные механизмы. Количественную оценку этой способности называют остротой стереозрения. Острота стереозрения – это один из основных показателей, характеризующих пространственное зрение человека и в повседневной жизни, и при восприятии искусственных стереоизображений. Однако измерить его не так просто. На практике для оценки остроты стереозрения обычно измеряют стереопороги – минимальные различия по глубине, которые человек способен обнаружить при предъявлении двух объектов на несколько различных расстояниях от его лица в центре поля зрения. Такие измерения проводят либо в условиях естественного наблюдения с использованием реальных объектов – например, вертикальных стержней в приборе Говарда-Долмана, либо в диоптрических условиях восприятия, позволяющих создавать виртуальные стереообразы. Для формирования виртуальных тестовых стереообразов применяют печатные или генерируемые на компьютерных дисплеях стереограммы, рассматриваемые через стереочки для сепарации левого и правого изображений на основе цветового (анаглифного), поляризационного или временного метода. Реже применяют безочковый метод наблюдения стереограмм на растровых экранах, который становится всё более популярным благодаря технологическому прогрессу.

До недавнего времени в офтальмологической практике использовались только тесты в виде альбомов или таблиц – такие как TNO, Titmus, Lang, Randot и др. Хотя в научных исследованиях компьютерные методы применяются ещё с 60-х годов XIX века, но только в последние годы наблюдается тенденция их широкого внедрения в офтальмологию [11, 15]. Более того, сейчас даже делаются попытки разместить компьютерные тесты в свободном доступе в интернете. Обзор методов измерения остроты стереозрения можно найти в недавних отечественных и зарубежных работах [1, 9, 12, 18, 23].

Табл. 1. Параметры бинокулярной оптической системы испытуемых

	Межзрачковое расстояние, мм	Показатели клинической рефракции		
		Глаз	Сферический компонент, дптр	Цилиндрический компонент, дптр
Исп.1	65	Правый	0.75	-0.5
		Левый	0.5	-0.25
Исп.2	65	Правый	0.75	-0.25
		Левый	0.5	-0.5
Исп.3	62	Правый	0.75	-0.5
		Левый	1	-0.25
Исп.4	60	Правый	0	-0.25
		Левый	-0.25	-0.25

К сожалению, единого общепринятого метода для оценки остроты стереозрения до сих пор нет, несмотря на более чем столетние усилия его выбрать. Это связано с тем, что величина стереопорога зависит от многих факторов и условий проведения измерений. В оптимальных условиях регистрируемые значения стереопорогов составляют единицы угловых секунд. Наименьшие значения стереопорогов в наиболее распространённых коммерческих тестах существенно больше – десятки секунд. Но это не означает, что данные тесты имеют большую погрешность – просто они содержат зрительные стимулы с другими параметрами, для которых стереопороги объективно выше, а относительные ошибки измерения могут быть сопоставимыми.

В офтальмологической литературе распространены утверждения, что люди, имеющие стереопороги выше 60 угловых секунд – стереослепые, т.е. они не способны использовать бинокулярные механизмы для оценки глубины. Однако эти утверждения основаны на данных, полученных в определённых условиях измерений и при определённых параметрах стимулов [22, 23]. В таких условиях средние нормальные значения составляют 5–10 угл. сек, при других параметрах и условиях критерий стереослепоты, соответствующий тому же состоянию нарушенных бинокулярных функций, будет иным. К сожалению, задача определения совокупности эквивалентных показателей стереозрения по разным тестам, по-видимому, не может быть решена в принципе. Из того, что у двух испытуемых результаты по данному конкретному тесту совпадают, нельзя сделать вывод, что результаты будут одинаковыми и по другому тесту, так как при изменении параметров стимуляции и условий измерения будут работать уже другие каналы обработки зрительной информации в двух сравниваемых зрительных системах. В связи с этим обстоятельством существует большой произвол в отношении выбора критериев стереослепоты: фактически, за такой критерий обычно принимают наибольшее значение диспаратности, реализованное в данном тесте. Другими словами, по

данному тесту, стереослепота – это невозможность воспринять хоть какое-то стереоизображение при тестировании с его использованием.

Приведём численные примеры, показывающие широкий разброс критериев стереослепоты в современной литературе. В коммерческом изделии Random Dot 2 Stereo Acuity Test стимулы для выявления стереослепоты имеют диспаратности 125 500 угл.сек (примерно 2–8 угл. мин), а средние значения стереоостроты у обследованных испытуемых оказались порядка 20–25 угл.сек. В другом распространённом коммерческом тесте – Titmus Fly – тест на стереослепоту имеет диспаратность порядка 4800 угл.сек (80 угл.мин); в тесте Lang соответствующая диспаратность составляет 1200 угл.сек (20 угл.мин). Таким образом, очевидно, что существующие критерии стереослепоты не имеют чёткого определения и смысла.

В связи с такой неопределённостью было интересно выяснить, как же всё-таки воспринимают стереофильмы люди, с так называемой стереослепотой, или сильно повышенными стереопорогами. С этой целью была проведена экспериментальная работа по оценке восприятия глубины при наблюдении стереокадров у испытуемых с нормальным стереозрением в условиях постепенного искусственного повышения стереопорогов, и были протестированы испытуемые, которых формально нужно было бы считать стереослепыми по всем существующим тестам.

Методика эксперимента

Экспериментальное исследование включало два этапа: измерение остроты стереозрения (1) и измерение видимого расстояния виртуальных стереообъектов от экрана, на котором предъявлен стереокадр (2), в зависимости от силы расфокусирующих линз, приставляемых к левому глазу испытуемого.

Испытуемые. В экспериментах принимали участие четверо молодых испытуемых с нормальными показателями остроты зрения и стереозрения. Параметры бинокулярной оптической системы всех испытуемых

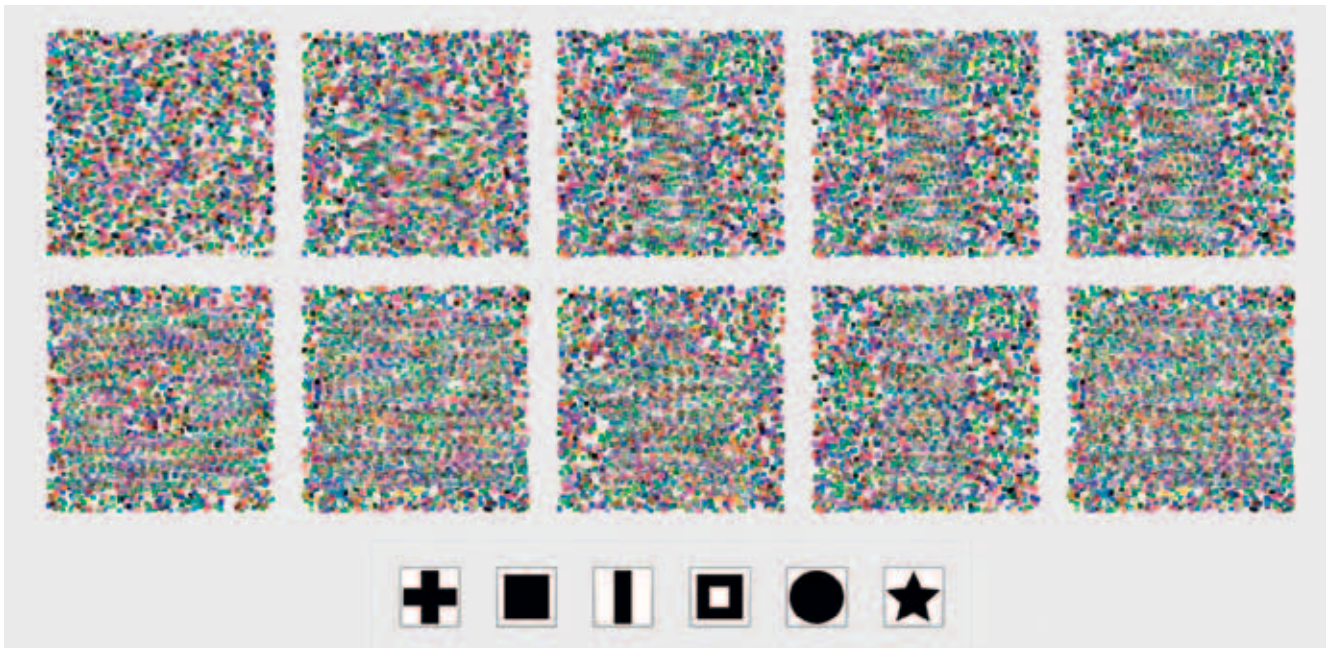


Рис. 1. Общий вид экрана с тестовыми стимулами для оценки стереопорогов

приведены в таблице 1. Из данных этой таблицы можно заключить, что испытуемые могли работать в наших экспериментах без оптической коррекции. Отклонения сферического компонента рефракции от нуля у них не превышали 1,0 дптр, а значит, учитывая молодой возраст пациентов, могли легко компенсироваться их собственными аккомодационными усилиями. Значения цилиндрического компонента у этих испытуемых были в пределах физиологической нормы ($\pm 0,5$ дптр).

Кроме того, для сравнения были протестированы двое пожилых испытуемых старше 65 лет с так называемой стереослепотой. У испытуемого 5 была миопия с различными показателями рефракции двух глаз, а у испытуемого 6 – выраженная гиперметропия. Испытуемый 6 был стереослепым по всем имеющимся в наличии тестам и имел диагноз амблиопия («ленивый» левый глаз). У испытуемого 5 показатели стереозрения соответствовали стереослепоте при определённых условиях, в которых и проводилось тестирование.

Экспериментальная установка. Для предъявления испытуемым стереоизображений использовали поляризационный 3D монитор LG Flatron D2342P-PN и соответствующие стереочки.

Оценку стереоостроты зрения проводили по авторскому компьютерному тесту для трёх расстояний наблюдения: 0,5; 1,0 и 4,0 м. Стимулами служили случайно-точечные

стереограммы, кодирующие геометрические фигуры, которые испытуемый должен был опознать. Общий вид экрана с тестовыми изображениями показан на рис. 1. Испытуемому одновременно предъявляли 10 стереограмм с различными диспаратностями. Вид кодируемых фигур показан внизу экрана под стереограммами. За значение стереопорога принимали минимальную диспаратность, позволяющую испытуемому видеть тестовую фигуру.

Диапазоны диспаратностей для указанных выше расстояний составляли 4–37; 2–18 и 0,5–4,6 угл. мин. В каждом диапазоне было десять значений по числу стереограмм.

Оценку пространственного восприятия испытуемыми виртуальных стереообъектов осуществляли при помощи установки, схема которой приведена на рис. 2. Установка содержала монитор и шкалу с ползунком, установленную перпендикулярно экрану.

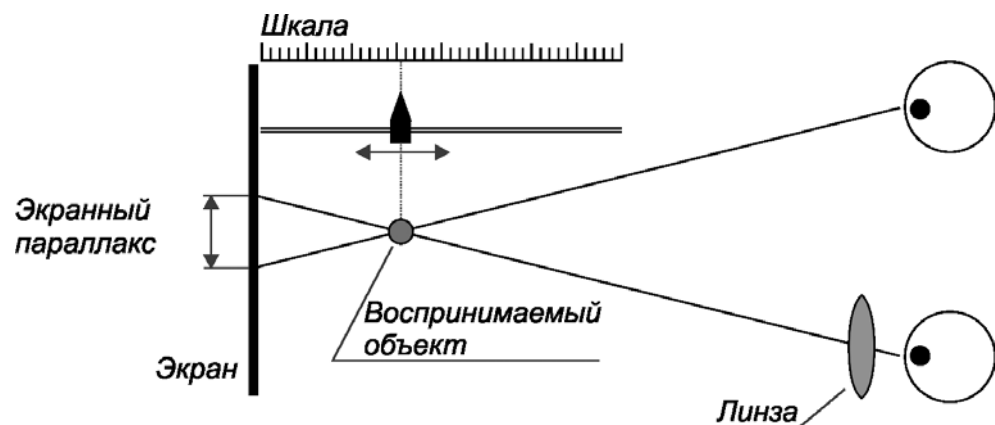


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

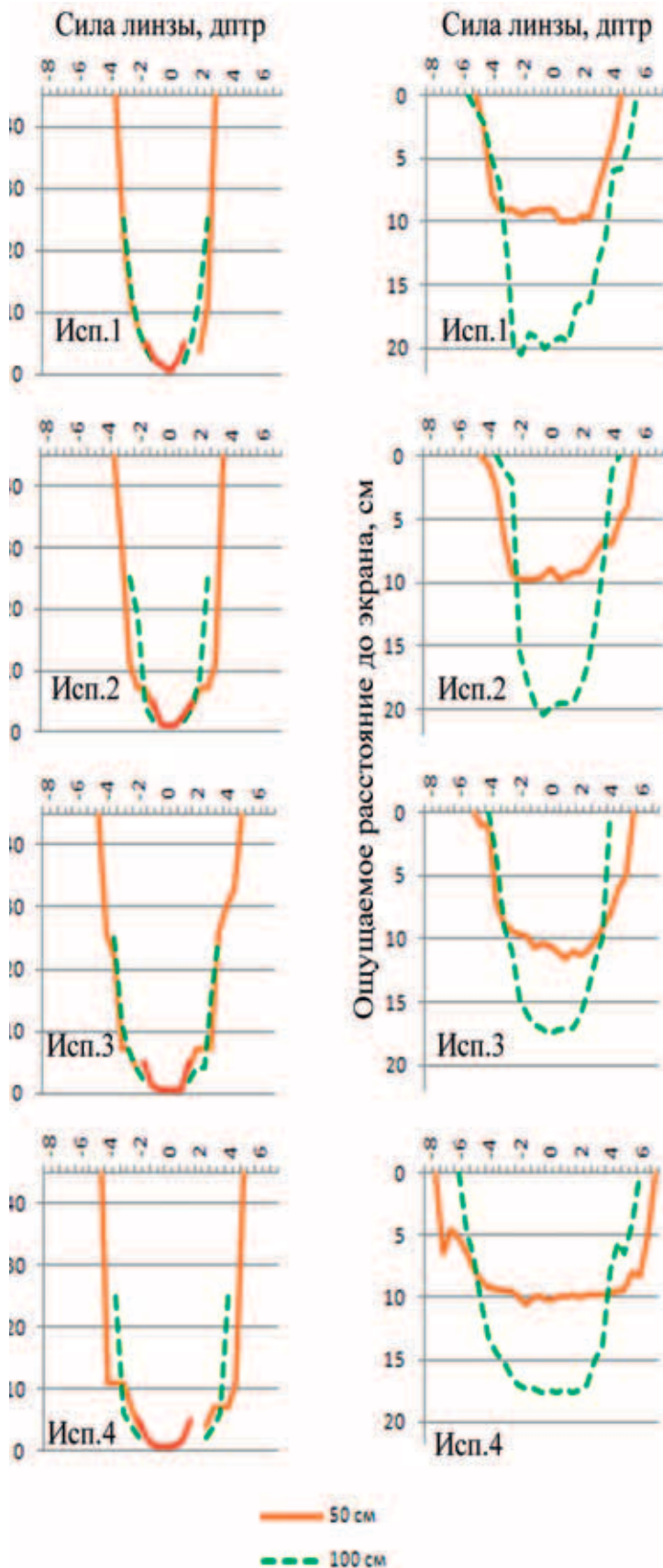


Рис. 3. Зависимости стереоостроты зрения (левый столбец) и воспринимаемого расстояния до стереообъекта (правый столбец) от силы расфокусирующих линз и расстояния наблюдения (50, 100 и 400 см)

Испытуемому предъявляли стоп-кадры из стереофильмов и выделяли объект, видимое расстояние до которого нужно было указать, устанавливая ползунок на том же расстоянии от экрана. В ходе каждого измерения на обоих этапах производили постепенное искусственное ухудшение остроты зрения левого глаза испытуемого путём приставления положительных и отрицательных линз из очкового набора (с шагом 0,5 дптр), что приводило к расфокусировке одного сетчаточного изображения и, соответственно, — к повышению стереопорогов (снижению остроты стереозрения).

Результаты и обсуждение

На рис. 3 в левом столбце приведены зависимости измеренной остроты стереозрения от силы расфокусирующих линз, полученные для расстояний наблюдения 50, 100, 400 см у всех испытуемых с нормальным стереозрением. Как видно из графика, у всех испытуемых увеличение силы линз приводило к быстрому возрастанию стереопорогов.

В данном эксперименте мы не использовали приёмов создания субпиксельных диспаратностей; значения измеряемых стереопорогов были кратными угловому размеру пикселя. В связи с этим при расстояниях наблюдения 50 и 100 см нам не удалось измерить исходные значения стереопорогов в отсутствие приставной линзы и при малой её силе; мы смогли оценить их достаточно точно только при расстоянии 400 см (красные сплошные линии). В наших условиях эксперимента, при использовании описанных тестовых изображений, исходные пороги оказались равными 0,5 угл. мин для испытуемых 1, 3 и 4, и 0,9 угл. мин для испытуемого 2.

При расстояниях наблюдения 100 и 50 см оценку стереопорогов удавалось проводить только после приставления линзы достаточной силы, поэтому на соответствующих кривых (оранжевые сплошные и зелёные пунктирные линии левого столбца) отсутствуют центральные части. Кроме того, верхнее значение порога, измеряемое при помощи нашего теста, также было ограничено, поэтому кривые для разных расстояний заканчиваются на разных уровнях.

Следует однако отметить, что полученные для разных расстояний кривые достаточно хорошо совмещались друг с другом, поэтому можно легко интерполировать общий вид зависимости стереопорога от силы рас-

фокусирующей линзы. Анализируя графики и числовые данные по порогам, можно заключить, что для повышения порогов в 5 раз достаточно было приставить линзу силой от $\pm 0,5$ до $\pm 1,5$ дптр.

В правом столбце на рис. 3 показаны результаты, полученные на втором этапе эксперимента – кривые зависимости воспринимаемого положения виртуального стереообъекта от силы расфокусирующих линз. Воспринимаемое расстояние измерялось от плоскости экрана до видимого образа объекта. Экранный параллакс объекта был такой величины, что при расстоянии наблюдения 50 см стереообраз должен был формироваться на расстоянии около 10 см от экрана, а при расстоянии наблюдения 100 см – на расстоянии около 20 см. Как видно на графиках, результаты оценки расстояния всеми четырьмя испытуемыми были близки к этим значениям в довольно широких пределах варьирования силы линз. За пределами этого диапазона объект постепенно приближался к плоскости экрана и, в конце концов, ощущение выхода объекта из экрана терялось.

Самый широкий диапазон устойчивости пространственного восприятия был у испытуемого 4: видимая позиция объекта сохранялась почти неизменной в интервале от $-3,5$ до $+3$ дптр при расстоянии наблюдения 100 см и от -5 до $+5$ дптр при расстоянии 50 см. В условиях приставления линз ± 5 дптр стереопороги испытуемого 4 превосходили 40 угл. мин, т.е. определённо попадали в «зону стереослепоты» по критериям большинства используемых тестов. Таким образом, получается, что воспринимаемая позиция стереообъекта практически не меняется, и ощущение глубины сохраняется даже при стереослепоте (в данном случае, искусственной). По существу, у остальных трёх испытуемых наблюдалась аналогичная ситуация: диапазон устойчивости позиции стереообраза был уже, но и стереопороги возрастали быстрее с увеличением силы линзы, т.е. наблюдалось своего рода масштабирование.

Как видно из полученных результатов, в плане влияния на зрительное восприятие ситуация со снижением остроты стереозрения аналогична тому, что имеет место при снижении обычной остроты зрения, когда человек, не разбирающий мелкий шрифт, может свободно читать текст из букв, увеличенных в нужной пропорции. Можно предположить, что видимое расстояние сохраняется почти неизменным до тех пор, пока зрительной системе удаётся правильно определить горизонтальный сдвиг левого и правого изображений, несмотря на увеличивающуюся размытость их проекций на сетчатке.

В случае зрителей, стереозрение которых снижено не искусственным путём, а по естественным причинам, ситуация, по всей видимости, осложняется тем, что бинокулярные мозговые механизмы, определяющие сдвиг левого и правого изображений, могут быть нарушенными или «ленивыми» из-за нетренированности. У наших испытуемых с естественной стереослепотой это проявлялось в неустойчивости стереоэффектов и их зависи-

мости от общей организации сцены, изображённой на кинокадре: в одних ситуациях стереоэффект был достаточно сильным и воспроизводимым (хотя и хуже, чем у испытуемых с нормальным стереозрением), в других ситуациях, казалось бы аналогичных, стереоэффект практически отсутствовал. Испытуемый с более сильной патологией, имеющий диагноз амблиопия, отмечал, что при просмотре стереофильмов он обычно хорошо видит, как птички (мячи, букеты и т. п.) «вылетают из экрана» и подлетают к нему, и чувствует общее усиление ощущения погружённости в пространство сцены. Таким образом, ни амблиопия, ни «стереослепота» не исключают некоторых специфических пространственных впечатлений от стереофильмов.

По мере всё более широкого внедрения стереотехнологий появляется всё больше статей и даже монографий, указывающих на то, что у людей, считающихся стереослепыми, стереофильмы могут возбуждать новые, невозможные в случае обычных фильмов, пространственные впечатления и вызывать позитивные эмоции [10]. В некоторых случаях у таких испытуемых стереозрение можно существенно улучшить путём тренировок. Однако у других людей с диагнозом «стереослепота» стереофильмы не порождают никаких специфических пространственных впечатлений, вызывают негативные эмоции и избыточное напряжение. Очевидно, что в разных случаях стереослепота может определяться разными причинами, и потому с каждым конкретным случаем нужно разбираться отдельно. Сам термин «стереослепота» следует употреблять с оговорками, пока не разработана более точная диагностика и более чёткая классификация стереоаномалий. Что касается трёхмерной формы фигур, то у людей со сниженным стереозрением в её восприятии, по-видимому, могут играть роль только монокулярные признаки объёмности, поскольку оценка формы на основе бинокулярного анализа расстояний между смежными деталями внутри объекта требует лучшей остроты стереозрения, чем оценка расстояния между объектом и экраном. Подтверждением этому может служить тот факт, что воспринимаемая объёмность небольших объектов, «вдавливающих» в экран в результате искусственного снижения остроты стереозрения, меняется очень незначительно. Ещё в XIX веке было установлено, что монокулярные признаки глубины и объёмности на картинах и фотографиях обеспечивают более сильные эффекты, когда человек смотрит одним глазом, так как при этом исключается действие бинокулярных механизмов, свидетельствующих о том, что изображение плоское. В соответствии с этим, в последние годы обращается внимание на то, что у художников, кинооператоров и других профессионалов, использующих монокулярные признаки глубины и объёма для передачи пространственных эффектов на полотне или экране, нарушения бинокулярного зрения встречаются намного чаще, чем в общей популяции [8,17]. Иными словами, бинокулярные нарушения могут быть полезными для

определённых видов профессиональной деятельности, связанных с необходимостью акцентировать внимание на монокулярных механизмах пространственного восприятия.

Заключение

– Снижение остроты стереозрения, численно характеризующееся повышением стереопорогов, безусловно, снижает качество наблюдаемых при просмотре стереофильмов пространственных сцен, однако определённая возможность адекватно воспринимать стереоэффекты сохраняется в достаточно широком диапазоне повышенных порогов.

– Хотя люди со сниженной остротой стереозрения не видят малых различий в глубине, они могут ощущать преимущества стереофильмов перед обычными фильмами в смысле получения более глубоких пространственных впечатлений и в определённых условиях могут успешно наблюдать сильные стереоэффекты, даже если им поставлен диагноз «стереослепота» и амблиопия.

– До тех пор, пока не будет разработана более точная диагностика и более чёткая классификация нарушений стереовосприятия, термин «стереослепота» следует употреблять с оговорками, указывая использованный критерий.

– На восприятии объёмности типичных объектов сцены (предметов интерьера, человеческих фигур и т. п.) снижение остроты стереозрения, по-видимому, сказывается незначительно, поскольку основную роль в восприятии трёхмерной формы обычно играют монокулярные признаки. ■

Работа выполнена при поддержке Программы ОНИТ РАН № 6 2014 г. и гранта Минобрнауки России RFMEF160414X0076.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачёва М.А., Рожкова Г.И. Стереострота зрения: основные понятия, методы измерения, возрастная динамика // Сенсорные системы, 26 (4), 2012, с. 259–279.
2. Майоров Н.А. Самые первые в истории развития мирового кинематографа // МТК, 2013, № 1(27), с. 39–44; № 2(28), с. 37–40; № 3(29), с. 34–40; 2014, № 1(31), с. 38–44.
3. Майоров Н.А. Становление и развитие отечественного стереокино // МТК, 2011, № 1(19), с. 33–51.
4. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н. Сравнительные трудности восприятия фильмов 2D и 3D форматов // МТК, 2010, № 1(16), с. 12–18.
5. Рожкова Г.И., Алексеенко С.В. Зрительный дискомфорт при восприятии стереоскопических изображений как следствие непривычного распределения нагрузки на различные механизмы зрительной системы // МТК, 2011, № 3(21), с. 12–21.
6. Banks M.S., Read J.C.A., Allison, Watt S.J. Stereopsis and the human visual system // SMPTE Motion Imaging Journal, 2012, May/June, p. 24–43.
7. Barry S.R. Fixing My Gaze: A Scientist's Journey into Seeing in Three Dimensions. 2009. New York: Basic Books, p. 272
8. Blakeslee S. A Defect That May Lead to a Masterpiece / New York Times. 2011
http://www.nytimes.com/2011/06/14/health/views/14vision.html?_r=0#
9. Farvardin M., Afarid M. Evaluation of stereo tests for screening of amblyopia // Iranian Red Crescent Medical Journal, 2007, V. 9, No 2, p. 80–85.
10. Freeland C. On being stereoblind in an era of 3D movies // Essays in Philosophy, V. 13, No 2, Article 11.
11. Gadia D., Garipoli G., Bonanomi C., Albani L., Rizzi A. Assessing stereo blindness and stereo acuity on digital displays // Displays, 2014, V. 35, No 4, p. 206–212.
12. Heron S., Lages M. Screening and sampling in studies of binocular vision // Vision research, 2012, V. 62, p. 228–234.
13. Hoffman D.M., Girshick A.R., Akeley K., Banks M.S. Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue // Journal of Vision, 2008, V. 8 (3), No 33, p. 1–30.
14. Howarth P.A. Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema and computer games: A review // Ophthalmic and Physiological Optics, 2011, V. 31, p. 111–122.
15. Kim J., Yang H.K., Kim Y., Lee B., Hwang J.M. Distance stereotest using a 3 dimensional monitor for adult subjects // Am. J. Ophthalmol, 2011, V. 151, No 6, p. 1081–1086.
16. Lambooi M., Jsselsteijn W., Fortuin M., Heynderickx I. Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review // Journal of Imaging Science and Technology, 2009, V. 53, No. 3.
17. Livingstone M.S., Conway B.R. Was Rembrandt stereoblind? // New England Journal of Medicine, 2004, V. 351, No 12, p. 1264–1265.
18. Momeni-Moghadam H., Kundart J., Ehsani M., Gholami K. The Comparison of Stereopsis with TNO and Titmus Tests in Symptomatic and Asymptomatic University Students // Journal of Behavioral Optometry, 2011, V. 23, No. 2.
19. Peck M. How a movie changed one man's vision forever
20. <http://www.bbc.com/future/story/20120719-awoken-from-a-2d-world>
21. Tam W.J., Speranza F., Yano S., Shimono K., Ono H. Stereoscopic 3D-TV: visual comfort // Broadcasting, IEEE Transactions on, 2011, V. 57, No. 2, p. 335–346.
22. Ukai K., Howarth P.A. Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations // Displays, 2008, V. 29 (2), p. 106–116.
23. Westheimer G. The Ferrier Lecture, 1992. Seeing depth with two eyes: stereopsis // Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 1994, V. 257, No. 1349, p. 205–214.
24. Westheimer G. Clinical evaluation of stereopsis // Vision research, 2013, V. 90, p. 38–42.