

УДК 778.534.1
ББК 37.95

Васильева Н.Н., Рожкова Г.И., Грачева М.А.

НЕОДНОЗНАЧНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ПОЗИЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕРЕООБЪЕКТОВ

Васильева Надежда Николаевна, доктор биологических наук, доцент

E-mail: nn_vasilyeva@mail.ru

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Рожкова Галина Ивановна, доктор биологических наук, кандидат физико-математических наук, профессор

E-mail: gir@iitp.ru

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Грачева Мария Александровна, кандидат биологических наук

E-mail: mg.iitp@gmail.com

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Учитывая существенные различия в эмоциональных реакциях испытуемых и словесных описаниях видимых ими образов, возникающих в одних и тех же условиях оценки показателей стереозрения, мы решили провести специальное исследование для выяснения возможности классификации зрителей по характеру их стереоскопического восприятия. В качестве метода использовали измерение конвергентных фузионных резервов, процедура которого имитирует наблюдение стереообъекта, выходящего из экрана, приближающегося к зрителю и уменьшающегося по ходу движения. В экспериментах участвовали взрослые испытуемые в возрасте от 18 до 79 лет (35 человек). Полученные данные показали, что

по характеру стереовосприятия людей можно подразделить, по крайней мере, на 4 типа. Лишь у четверти участников исследования виртуальные стереообъекты воспринимались в соответствии с правилами стереографии как движущиеся от экрана к наблюдателю и меняющие свои размеры. У большинства же стереообразы сохраняли первоначальные размеры и позицию в центре экрана, несмотря на увеличение экранного параллакса. Более того, у пяти испытуемых стереообраз даже удалялся в заэкранное пространство. Опрос испытуемых показал, что обнаруженные индивидуальные различия коррелируют с вероятностью появления дискомфорта при просмотре стереофильмов.

Ключевые слова: стереоскопическое зрение, типы стереоскопического восприятия, зрительный дискомфорт, фузионные резервы.

ВВЕДЕНИЕ

До сих пор считалось само собой разумеющимся, что при просмотре стереофильмов бинокулярный образ прослеживаемого объекта должен быть виден на пересечении зрительных осей – такая хрестоматийная картина фигурирует во многих статьях. Однако нами было обнаружено, что во многих случаях это не так: у части испытуемых успешно сформированный и хорошо прослеживаемый стереообраз может быть виден на значительном расстоянии от точки пересечения зрительных осей левого и правого глаза. В наших предыдущих исследованиях [2, 4], во время комплексной оценки состояния бинокулярных зрительных функций у детей разного возраста (более 600 испытуемых), при измерении показателей стереовосприятия у детей мы обратили внимание на существенные индивидуальные различия в субъективных отчётах о величине и позиции наблюдаемого стереообраза в идентичных условиях тестирования. Например, при восприятии предъявляемых на мониторе стереограмм, у многих детей успешное формирование стереообраза сопровождалось попаданием виртуальных стереообъектов в мануальное пространство, при этом они проявляли восторженную эмоциональную реакцию, пытались активно дотронуться до виртуальных объектов и отмечали, что в процессе изменения бинокулярных параллаксов стереообъекты приближаются к ним или удаляются. В то же время у другой части испытуемых не было подобной эмоциональной реакции, а виртуальный стереообъект в течение всего времени наблюдения мог восприниматься как находящийся на экране, несмотря на изменения экранного параллакса.

В указанных работах специального исследования отмеченных индивидуальных различий не было предусмотрено. Позднее, при выполнении аналогичных исследований на взрослых испытуемых, появилась возможность более детально изучить индивидуальные особенности восприятия стереообразов в условиях, приближенных к просмотру стереофильмов, что и было целью настоящей работы. Оказалось, что и у взрослых людей одни и те же стереопары могут порождать стереообразы, существенно различающиеся по величине и позиции.

МЕТОДИКА

В качестве метода исследования было выбрано компьютерное измерение фузионных резервов, основанное на генерации динамических стереопар, имитирующих выход стереообъекта из экрана.

Фузионные резервы являются одним из базовых показателей бинокулярного зрения, определяющих комфортность восприятия стереофильмов зрителем. Они характеризуют помехоустойчивость и гибкость механизмов *фузии* (слияния, объединения), обеспечивающих формирование единого трёхмерного образа в результате совместной обработки изображений объекта на сетчатках двух глаз. Процедура измерения фузионных резервов подразумевает оценку способности зрительной системы сохранять единый бинокулярный образ объекта при искусственной стимуляции конвергенции/дивергенции осей глаз в условиях рассогласования аккомодации и вергенции.

В данной работе измерение фузионных резервов проведено с использованием разработанной в ИППИ РАН интерактивной компьютерной программы «Фузия», в которой предусмотрены поляризационный и цветовой (анаглифный вариант) способы сепарации левого и правого изображений [1].

Экспериментальная установка включала стереоскопический телевизор, используемый в качестве монитора для предъявления тестовых стимулов, разделительные стереоочки и подставку-подбородник для фиксации головы испытуемого (рис. 1).

Использование в программе в качестве стимулов *случайно-точечных стереограмм* (СТС) позволяет контролировать сохранение у испытуемых способности к формированию полноценных стереообразов на основе бинокулярной диспаратности на всём протя-

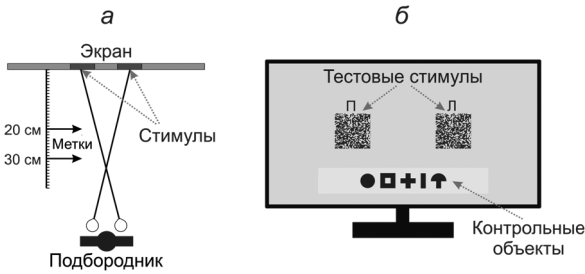


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

жении измерения до момента распада сфузирванного образа при достижении критических углов конвергенции/дивергенции [4].

Зрительные стимулы (квадратные СТС) имели размеры 90×90 мм и кодировали простые тест-объекты, слегка выступающие из фона за счёт диспаратности (циклопические контрольные объекты). Размер отдельных «точек» — элементов СТС — составлял 5×5 пикселей, а размер пикселя был равен 0,51 мм.

Схемы наблюдения тестовых изображений при измерении фузионных резервов на компьютерной установке представлены на рис. 2. В начальный момент левый и правый стимулы были совмещены в центре экрана, что позволяло испытуемым с нормальными механизмами бинокулярного стереопсиса легко сфузировать эту пару изображений и увидеть на случайно-точечном фоне циклопический объект.

При измерении конвергентных фузионных резервов правый стимул двигался влево, а левый — вправо, что вызывало постепенное увеличение экранного параллакса и угла между зрительными осями (угла конвергенции). При измерении дивергентных фузионных резервов правый стимул двигался вправо, а левый — влево, что приводило к дивергенции (разведению) зрительных осей. За значение фузионных резервов принимали те предельные углы

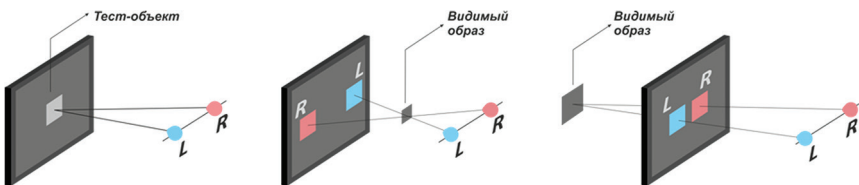


Рис. 2. Схемы наблюдения тестовых изображений при измерении фузионных резервов

конвергенции и дивергенции, превышение которых вызывает срыв фузии, исчезновение циклопического контрольного объекта и двоение стимула.

Для оценки видимой позиции виртуальных стереообъектов, возникающих при измерении фузионных резервов, были использованы специальные метки (см. рис. 1), обеспечивающие возможность сопоставлять в пространстве воспринимаемую позицию стереообраза и позицию виртуального стереообъекта, рассчитанную по правилам стереографии.

В исследовании приняли участие 35 человек в возрасте от 18 до 79 лет, давших информированное согласие на проведение процедуры измерений. Критерием отбора испытуемых для данного эксперимента явилось наличие у них полноценных механизмов бинокулярного стереопсиса.

Для проведения измерений испытуемый надевал стереоочки и располагался на расстоянии 50 см от экрана телевизора на стуле регулируемой высоты. Голову испытуемого фиксировали на подставке-подбороднике таким образом, чтобы глаза находились на уровне центра экрана. Когда испытуемый начинал видеть циклопический объект, он сообщал о своей готовности к измерениям, и экспериментатор запускал программу медленного движения левого и правого стимулов в противоположных направлениях от центра. Скорость движения стимулов по экрану составляла 100 мм/мин. По ходу движения контрольные циклопические объекты внутри тестовых стимулов менялись: это удерживало внимание испытуемого и позволяло точно установить момент распада бинокулярного образа, после которого движение стимулов останавливали и выводили на экран набор контрольных тест-объектов («детектор лжи»). Испытуемому предлагалось выбрать объект, воспринимаемый непосредственно перед моментом распада.

Эксперимент включал 3 серии. В первой серии у всех испытуемых измеряли конвергентные фузионные резервы. По окончании процедуры испытуемых просили описать величину и позицию стереообразов, наблюдаемых в процессе расхождения левой и правой частей стереопары. По результатам первой серии выделяли подгруппу испытуемых, у которых в указанных условиях видимый стереообъект двигался в направлении от экрана к испытуемому.

Выделенная подгруппа участвовала во второй серии экспериментов. В данной серии осуществляли сопоставление позиции видимого стереобъекта с точкой пересечения зрительных осей. Для этого использовали метки, устанавливаемые на расстояниях 20 см и 30 см от экрана. Задача испытуемого состояла в том, чтобы в ходе перемещения стереобъекта сообщить о моменте, когда расстояние воспринимаемого стереобъекта от экрана соответствовало глубине расположения метки. Зафиксированные на экране позиции левого и правого стимулов служили ориентирами для расчёта вероятной позиции точки пересечения зрительных осей в момент наблюдения виртуального стереобъекта на заданной глубине.

В третьей серии исследований проводили опрос испытуемых на предмет их отношения к стереокино: участникам эксперимента было предложено высказать общее впечатление от просмотра стереофильмов и охарактеризовать свои ощущения (степень усталости глаз, наличие головокружения, головной боли, дискомфорта, тошноты).

РЕЗУЛЬТАТЫ

По итогам первой серии исследований было установлено, что все участвовавшие в экспериментах испытуемые имеют нормальные или превышающие нормативные значения фузионные резервы. Величина конвергентных фузионных резервов у испытуемых находилась в диапазоне от 19° до 59°.

При постепенном увеличении экранного параллакса тестового стимула были выявлены следующие типы восприятия величины и позиции виртуальных стереообразов:

I тип — стереобраз приближается к испытуемому и уменьшается в размерах;

II тип — стереобраз сохраняет позицию на экране и не меняет своих размеров;

III тип — стереобраз удаляется за экран;

IV тип — стереобраз демонстрирует более сложные трансформации; видимую картину испытуемые описывали следующим образом: «Сначала стереобъект начинал приближаться, а затем возвращался на место, т. е. на экран».

Первые три типа схематически представлены на рис. 3.

Неожиданно было обнаружено (рис. 4), что только четверть испытуемых из выборки соответствует хрестоматийному представ-

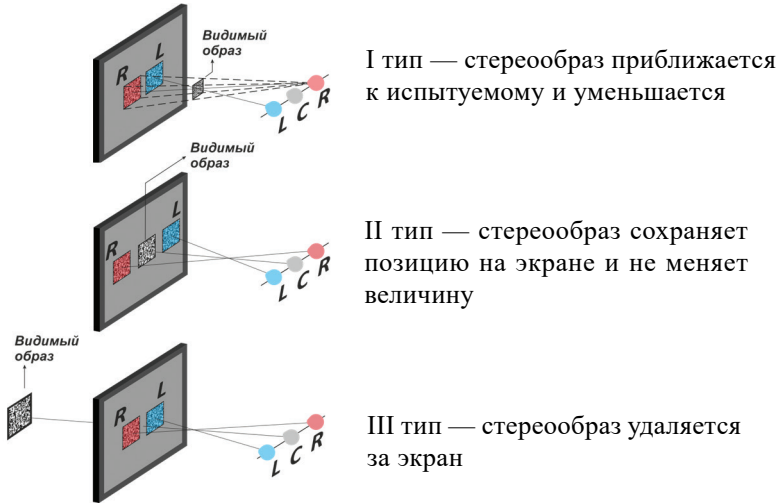


Рис. 3. Варианты видимых образов у разных испытуемых при исследовании конвергентных фузионных резервов

лению (I тип). Как оказалось, большинство участников исследования относятся ко II типу. Заметное число испытуемых попало в группу III типа. Остальных испытуемых мы отнесли к IV типу (смешанному).

Сопоставление расчётных позиций точки пересечения двух зрительных осей при достижении виртуальным стереообъектом метки с расстоянием от экрана до метки показало, что они достаточно близки (табл. 1), а у некоторых испытуемых точно совпадают. Это было справедливо для обоих режимов сепарации изобра-

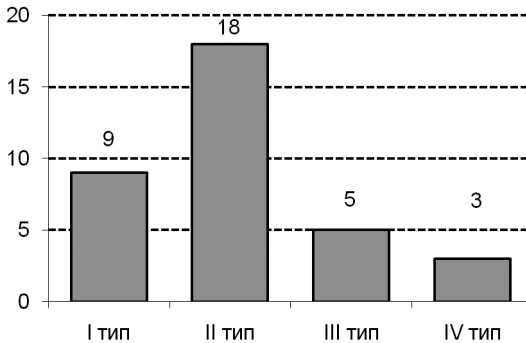


Рис. 4. Распределение испытуемых по типу восприятия величины и позиции стереобразов

Расчётные расстояния от экрана до точки пересечения зрительных осей при наблюдении стереобъекта на уровне метки

Режим сепарации	Метка 20 см	Метка 30 см
Поляризационный	20,5–22,2 см	29,5–33,5 см
Анаглифный	17,5–21,2 см	30,4–31,3 см

жений, использованных в экспериментах, — поляризационного и анаглифного.

Учитывая возможные индивидуальные различия в точности оценки положения стереообраза по отношению к меткам и в скорости сенсомоторных реакций испытуемых, в первом приближении, можно сказать, что имело место неплохое совпадение сравниваемых позиций.

Обнаруженные индивидуальные различия свидетельствуют о возможности неоднозначной интерпретации сетчаточных изображений в этих условиях восприятия из-за доминирования у разных людей разных механизмов, вносящих вклад в эту интерпретацию. Как известно, в формировании видимых образов обычно участвуют различные параллельные механизмы, автономно производящие оценку одних и тех же параметров рассматриваемой сцены [3, 5]. В условиях проводимых экспериментов в монокулярные и бинокулярные мозговые подсистемы анализа зрительной информации поступали весьма противоречивые сигналы о величине и позиции тест-объекта, которые трудно согласовать между собой, исходя из простых гипотез о виде и движении наблюдаемого объекта. Например, очевидно, что в каждом монокулярном канале поступающая информация свидетельствует об увеличении расстояния до объекта, а в чисто бинокулярном канале — об уменьшении расстояния до объекта.

Учитывая современные представления о множественности механизмов в зрительной системе и субъективные отчёты испытуемых, можно высказать следующие предположения о природе различий между разными типами стереоскопического восприятия.

I тип («стереографический») — наблюдаемые стереообразы соответствуют геометрическим построениям стереоизображений в стереографии:

— стереобраз формируется в точке пересечения зрительных осей;

— стереобраз приближается к наблюдателю по мере увеличения экранного параллакса;

— величина стереобраза уменьшается с приближением к наблюдателю.

II тип («не учитывающий движения осей глаз») — фиксируемые каждым глазом изображения на сетчатках практически неподвижны, а информацию о движении зрительных осей мозг игнорирует, поэтому формируемый стереобраз сохраняет исходные размеры и позицию, несмотря на увеличение экранного параллакса.

III тип («игнорирование движения осей глаз при учёте сигналов монокулярных подсистем об увеличении расстояния») — стереобраз кажется удаляющимся за экран, потому что информация о движении осей глаз игнорируется, а обе монокулярные зрительные подсистемы передают в мозг информацию об увеличении расстояния до наблюдаемого виртуального стереообъекта по мере увеличения экранного параллакса.

Несмотря на то что все участники эксперимента имели полноценные механизмы бинокулярного стереопсиса, проведённый опрос показал, что часть испытуемых нередко ощущает дискомфорт при просмотре стереофильмов. Это проявляется в виде усталости глаз, головокружения, головной боли, тошноты. При анализе данных опроса было установлено, что дискомфорт испытывают, в первую очередь, люди, отнесённые к II и III типам восприятия виртуальных стереообъектов.

Таким образом, выявление индивидуальных особенностей стереоскопического восприятия величины и позиции виртуальных стереообъектов может иметь существенное значение для прогнозирования степени потенциального дискомфорта при просмотре стереофильмов.

Авторы выражают благодарность Е.Н. Крутцовой за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков А.С., Рожкова Г.И. Интерактивная тестовая программа для оценки состояния и тренировки фузионных механизмов бинокулярного зрения ФУЗИЯ. Свидетельство о госу-

дарственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610975 от 09.01.2013.

2. Васильева Н.Н., Рожкова Г.И. Возрастная динамика фузионных резервов, измеренных при помощи циклопических тест-объектов с маркерами // Сенсорные системы. 2009. Т. 23. № 1. С. 40–50.

3. Рожкова Г.И. Бинокулярное зрение // Физиология зрения / под ред. А.Л. Бызова. М.: Наука, 1992. С. 586–664.

4. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н. Компьютерный метод оценки фузионных резервов с объективным контролем нарушения фузии // Физиология человека. 2010. Т. 36. № 3. С. 135–137.

5. Howard I.P., Rogers B.J. Perceiving in depth. Vol. 2. Stereoscopic vision. Oxford: Oxford University Press, 2012. 635 p.

Nadezhda N. Vasilyeva, Galina I. Rozhkova, Maria A. Gracheva

AMBIGUOUS PERCEPTION OF SIZE AND SPATIAL POSITIONS OF VIRTUAL STEREO OBJECTS

Nadezhda N. Vasilyeva, PhD, Sc. D. (Biology), assistant professor

E-mail: nn_vasilyeva@mail.ru

Institute for Information Transmission Problems RAS

Galina I. Rozhkova, PhD, Sc. D. (Biology), PhD (Physical and Mathematical Sciences), professor

E-mail: gir@iitp.ru

Institute for Information Transmission Problems RAS

Maria A. Gracheva, PhD (Biology)

E-mail: mg.iitp@gmail.com

Institute for Information Transmission Problems RAS

Taking into consideration essential differences between individuals in emotional responses and descriptions of visual images evoked by identical stimuli in identical conditions of stereovision assessment, we decided to perform a special investigation aimed at classification of spectators according to certain peculiarities of their stereoscopic perception. Experiments were based on computer measure of fusional reserves. The procedure was similar to observation of a stereo movie fragment with an object coming out of screen to spectator and reducing in size. Subjects were 35 adults aged 18-79 yr. According to the data obtained, the subjects could be divided into 4 types, at least. Only one fourth of the subjects perceived virtual stereo objects moving to them and changing in size as was predicted by stereography rules.

In most subjects, the perceived stereo images retained their size and position in the center of the monitor screen despite significant increase in the stimulus screen parallax. Moreover, in 5 subjects, the perceived stereo images moved backward into the space behind the screen. Questioning of the subjects revealed correlation between the types of stereovision determined in our experiments and the probability of feeling discomfort while viewing stereo movies.

Key words: stereoscopic vision, types of stereoscopic perception, visual discomfort, fusional reserves.

REFERENCES

1. Bol'shakov A.S., Rozhkova G.I. Interaktivnaya testovaya programma dlya otsenki sostoyaniya i trenirovki fuzionnykh mekhanizmov binokulyarnogo zreniya FUZIYa. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM № 2013610975 ot 09.01.2013.

2. Vasil'eva N.N., Rozhkova G.I. Vozrastnaya dinamika fuzionnykh rezervov, izmerennykh pri pomoshchi tsiklopicheskikh test-ob»ektov s markerami // *Sensornye sistemy*. 2009. Vol. 23. No 1. P. 40–50.

3. Rozhkova G.I. Binokulyarnoe zrenie // *Fiziologiya zreniya* / Pod red. A.L. Byzova. M.: Nauka, 1992. P. 586–664.

4. Rozhkova G.I., Vasil'eva N.N. Komp'yuternyi metod otsenki fuzionnykh rezervov s ob'ektivnym kontrolem narusheniya fuzii // *Fiziologiya cheloveka*. 2010. Vol. 36. No 3. P. 135–137.

5. Howard I.P., Rogers B.J. *Perceiving in depth*. Vol. 2. Stereoscopic vision. Oxford: Oxford University Press, 2012. 635 p.