

## Результаты использования альтернирующего предъявления различных стереостимулов для исследования способности к стереовосприятию у детей с послеоперационной остаточной микродевиацией

С.И. Рычкова<sup>1</sup>, М.-С. Diraison<sup>2</sup>, В.Г. Лихванцева<sup>3, 4, 5</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва;

<sup>2</sup> Service Ophtalmologie Hopital Lariboisiere, Paris (France);

<sup>3</sup> ФГБУ науки «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН», Москва;

<sup>4</sup> ФГБУ ГНЦ РФ «Федеральный биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБР России, Москва;

<sup>5</sup> ФПК «Академия постдипломного образования» ФГБУ ФМБА России, Москва

### РЕФЕРАТ

**Цель.** Исследование способности к стереовосприятию у детей с послеоперационной остаточной микродевиацией при помощи альтернирующего предъявления различных стереостимулов.

**Материал и методы.** Под наблюдением находилось 30 детей в возрасте от 8 до 16 лет (в среднем 12,5 лет), оперированных по поводу содружественного косоглазия и имеющих на момент наблюдения послеоперационную остаточную микродевиацию (в среднем  $3,4 \pm 0,2$  град. ( $6,8 \pm 0,4$  пр. дптр)). Остаточная эзотропия наблюдалась у 21 ребенка (из них в пяти случаях в сочетании с вертикальной микродевиацией), экзотропия – у девяти детей.

Наряду с обычным офтальмологическим исследованием и оценкой стереозрения при помощи классических тестов (Lang-тест и Fly-тест) ис-

пользовали собственные стереотесты, разработанные на основе стереоизображений, созданных J. Ninio. Наши стереотесты включали стимулы: 1) с центральным расположением вертикальной или горизонтальной полосок при успешной фузии и способности к стереовосприятию, создающих эффект наклона относительно горизонтальной оси (вертикальная полоска) или разворота вокруг вертикальной оси (горизонтальная полоска); 2) с периферическим расположением вертикальных или горизонтальных полосок, создающих соответственно эффект наклона или разворота; 3) случайно-точечные стереограммы, создающие при успешной фузии впечатление вертикального или горизонтального цилиндра. Испытуемый рассматривал изображение, предъявляемое на экране монитора, с расстояния 50 см от глаз через красно-синие светофильтры в условиях полной призмной компенсации угла косоглазия и оптимальной очковой или контактной коррекции аметропии. ►

### ABSTRACT

#### The results of use of alternating presentation of different stereoimages to study the ability to stereovision in children with postoperative residual microdeviation

S.I. Rychkova<sup>1</sup>, M.-C. Diraison<sup>2</sup>, V.G. Likhvantseva<sup>3, 4, 5</sup>

<sup>1</sup> The Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of the RAS, Moscow;

<sup>2</sup> The Service Ophtalmologie Hopital Lariboisiere, Paris (France);

<sup>3</sup> The Emanuel N.M. Institute for Biochemical Physics of the RAS, Moscow;

<sup>4</sup> The Burnazyan A.I. Federal Biophysical Center, Moscow;

<sup>5</sup> The Academy of Postgraduate Education, Moscow

**Purpose.** To study abilities to stereo-perception in children with postoperative residual micro-deviation via alternating presentation of different stereo stimuli.

**Material and methods.** The study included 30 children aged 8 to 16 years (average 12.5 years) with operated strabismus who have postoperative residual micro-deviation (mean  $6.8 \pm 0.4$  pr.D) at the time of the observation. Residual esotropia was observed in 21 children (5 of them had also a vertical micro-deviation), exotropia – 9 children.

Along with the usual ophthalmic examination and evaluation of stereovision by means of classical Lang-test and Fly-test we used our own stereo-tests developed on the basis of stereo images created by J. Ninio.

Our stereo-tests included stimuli: 1) with a central location of vertical or horizontal stripes with a successful fusion and an ability to stereo perception of tilt relative to the horizontal axis (vertical strip) or turn around the vertical axis (horizontal strip); 2) with a peripheral location of vertical or horizontal stripes creating respectively the effect of tilt or reversal turn; 3) randomly-point stereo-grams, creating the impression of a successful fusion of vertical or horizontal cylinder.

The subject observed the images shown on the monitor screen from a distance of 50 cm from the eyes through the red-blue light filters in conditions of full prismatic compensation of the angle of strabismus and optimal spectacle or contact correction of ametropia. ►



◀ Стимулы предъявлялись как в статичном варианте, так и в режимах альтернирования при помощи компьютерной программы, разработанной М.В. Жмуровым.

Использовали три варианта альтернирующего предъявления стимулов: 1) режим с последовательным монокулярным предъявлением стимулов, соответствующих правому и левому глазу; 2) режим с наличием пустого интервала между монокулярными фазами; 3) режим с наличием бинокулярной фазы между монокулярными фазами.

**Результаты.** У всех пациентов результаты исследования стереозрения с Lang-тестом, Fly-тестом и статичным вариантом использованных в данной работе наших стереостимулов были отрицательными.

При предъявлении стимулов в разных вариантах режима альтернирования у восьми детей общей группы стереоэффект возникал только при использовании стереостимулов с периферическим расположением вертикальных или горизонтальных полосок во всех трех режимах альтернирующего предъявления. У 22 детей стереоэффект возникал со стимулами как с периферическим, так и с центральным расположением полосок при использовании всех трех вариантов их альтернирующего предъявления. Из них эффект объема со случайно-точечными стереостимулами возникал лишь у девяти детей, имеющих устойчивое бифовеальное слияние, и только в режиме предъявления изображений с наличием пустого интервала между монокулярными фазами. Таким образом, в режиме альтернирования с наличием пустого интервала было возможно восприятие не только линейных, но и случайно-точечных стереостимулов. При сравнении в данном режиме максимальных длительностей монокулярных фаз для разных изображений достоверная разница была выявлена между средними значениями для стимулов с периферическими вертикальными полосками ( $57 \pm 2,3$  мс)

Офтальмохирургия. 2019;3:29–35.

◀ The stimuli were presented both in the static version and in the modes of alternation via a computer program developed by M. V. Zhmurov.

Three modes of alternative presentation of stimuli were used: 1) the mode with a consecutive monocular presentation of visual stimuli corresponding to the right and left eyes 2) the mode with the presence of an empty interval between monocular phases; 3) the mode with the presence of a binocular phase between monocular phases.

**Results.** In all patients, the results of the study of stereovision with Lang-test, Fly-test and static version of our stereo-tests used in this work were negative.

In eight children of the general group, the stereo effect appears only with stereo-images with a peripheral arrangement of vertical or horizontal stripes in all three modes of the alternating presentation. In 22 children, the stereo effect appears with stimuli both with peripheral and with the central location of the stripes in all three modes of their alternating presentation. The volume effect with random-dot stereo-stimuli occurred in only nine children, with a stable bifoveal fusion, and only in the mode of alternating presentation with an empty interval between monocular phases. Thus, in this mode of alternating presentation it was possible to perceive not only linear, but also random-dot stereo-images.

Comparing the maximum durations of monocular phases for different images in this mode, a significant difference was found between the mean values for stimuli with peripheral vertical stripes ( $57 \pm 2.3$  ms) and with central vertical stripes ( $43.2 \pm 2.6$  ms;  $p < 0.001$ ), as well as between the

Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2019;3:29–35.

и центральными вертикальными полосками ( $43.2 \pm 2.6$  мс;  $p < 0.001$ ), а также между средними значениями для стимулов с периферическими горизонтальными полосками ( $56 \pm 2,1$  мс) и центральными горизонтальными полосками ( $43,6 \pm 3,4$  мс;  $p < 0,002$ ). Максимальная длительность монокулярных фаз для случайно-точечных стимулов, создающих эффект вертикального цилиндра ( $32,2 \pm 5,8$  мс) и горизонтального цилиндра ( $31,1 \pm 6,7$  мс), была достоверно ниже максимальной длительности для стимулов с периферическими вертикальными и горизонтальными полосками ( $p < 0,001$ ). Такие же закономерности наблюдались для максимальных длительностей пустого интервала.

**Выводы.** Достижение стереоэффекта возможно у детей с остаточной послеоперационной микродевиацией. При этом наиболее эффективными из использованных нами изображений являются стимулы с периферическим расположением элементов, создающих стереоэффект при успешной фузии. Режим альтернирующего предъявления стимулов с наличием пустого интервала между монокулярными фазами создает более благоприятные условия для возникновения стереоэффекта по сравнению с режимом альтернирующего предъявления стимулов с наличием бинокулярной фазы между монокулярными фазами и по сравнению с режимом чередования монокулярных фаз. Стереовосприятие со случайно-точечными стереограммами вызывает серьезные затруднения у большинства детей с послеоперационной микродевиацией, однако возможно в некоторых случаях при использовании режима альтернирующего предъявления стимулов с наличием пустого интервала между монокулярными фазами.

**Ключевые слова:** стереозрение, послеоперационная остаточная микродевиация, альтернирующее предъявление стереостимулов. ■

**Авторы не имеют финансовых или имущественных интересов в упомянутых материале и методах.**

mean values for stimuli with peripheral horizontal stripes ( $56 \pm 2.1$  ms) and central horizontal stripes ( $43.6 \pm 3.4$  ms;  $p < 0.002$ ). The maximum duration of monocular phases for random-dot stereo-images producing the effect of a vertical cylinder ( $32.2 \pm 5.8$  ms) and a horizontal cylinder ( $31.1 \pm 6.7$  ms) was significantly lower than the maximum duration for stimuli with peripheral vertical and horizontal stripes ( $p < 0.001$ ). The same regularities were observed for the maximum duration of the empty interval.

**Conclusion.** The stereo-perception is possible in children with residual postoperative micro-deviation. At the same time, the most effective of the images we used are stimuli with a peripheral arrangement of elements that create a stereo effect in condition of a successful fusion. The mode of alternating presentation of stimuli with the presence of an empty interval between monocular phases creates more favorable conditions for the appearance of a stereo effect in comparison with the mode of alternating presentation of stimuli with the presence of a binocular phase between monocular phases and in comparison with the mode of alternating monocular phases.

Stereovision with random-dot stereograms causes serious difficulties in most children with postoperative microdeviation, however, it is possible in some cases in the mode of alternating presentation of stimuli with the presence of an empty interval between monocular phases.

**Key words:** stereovision, postoperative residual microdeviation, alternating presentation of stereo-images. ■

**No author has a financial or proprietary interest in any material or method mentioned**

## АКТУАЛЬНОСТЬ

В результате хирургического лечения косоглазия с большим углом девиации в некоторых случаях наблюдается послеоперационная остаточная микродевиация. Это состояние характеризуется малым углом косоглазия – до 5 град. (до 10 пр. дптр.), наличием установочных движений глаз при cover-тесте, различной степенью бинокулярного взаимодействия (нередко в виде аномальной корреспонденции сетчаток) и, как правило, отсутствием или нарушением стереозрения. При этом прогноз в отношении возможности улучшения бинокулярных зрительных функций у таких пациентов является намного более благоприятным по сравнению с пациентами с первичной микродевиацией (имеющих изначально малый угол косоглазия, не подлежащий хирургическому лечению [1–4].

Несмотря на то, что принцип альтернирующего предъявления стимулов для исследования, а также развития и восстановления бинокулярных зрительных функций используется в офтальмологии довольно давно, интерес к этому направлению в последние годы все больше возрастает на фоне появляющихся новых современных технологий [5–7].

В недавнем сравнительном исследовании эффективности использования разных видов зрительных упражнений у пациентов с дисбинокулярной амблиопией было показано, что использование стереостимулов дает более выраженный эффект, чем монокулярные тренировки или использование дихоптических тренировок с двухмерными стимулами. В исследовании использовали разработанную систему виртуальной реальности для тренировки стереопсиса (в том числе и с использованием стимулов, создающих эффект наклона). Авторы предположили, что полученные результаты можно объяснить тем, что стереостимулы оказывают более сильное влияние

как на уменьшение супрессии косящего амблиопичного глаза, так и на более активное включение его в совместную работу двух глаз [7].

Однако, несмотря на достигнутые успехи в разработке методов развития и восстановления бинокулярного зрения, многие проблемы еще остаются нерешенными. В частности остается открытым вопрос о том, какими характеристиками должны обладать предъявляемые стимулы в зависимости от состояния зрительных функций на определенном этапе лечения.

## ЦЕЛЬ

Исследование способности к стереовосприятию у детей с послеоперационной остаточной микродевиацией при помощи альтернирующего предъявления различных стереостимулов.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Под наблюдением находилось 30 детей в возрасте от 8 до 16 лет (в среднем 12,5 лет) оперированных по поводу содружественного косоглазия и имеющих на момент наблюдения послеоперационную остаточную микродевиацию (в среднем  $3,4 \pm 0,2$  град. ( $6,8 \pm 0,4$  пр. дптр)). Остаточная эзотропия наблюдалась у 21 ребенка (у пяти из них в сочетании с вертикальной микродевиацией), экзотропия – у девяти детей. Миопическая рефракция наблюдалась у 20 детей с эзотропией и одного ребенка с экзотропией, гиперметропическая рефракция – у восьми детей с экзотропией и одного ребенка с эзотропией. У всех детей выявлялась дисбинокулярная амблиопия слабой степени, при этом острота лучшевидящего глаза составляла в среднем  $0,92 \pm 0,01$ , а хужевидящего глаза  $0,74 \pm 0,03$ .

На первом этапе всем детям проводилось обычное офтальмологическое обследование с использованием для диагностики бинокулярных функций и стереозрения клас-

сических методов с тестом Баголини (с растровыми очками и точечным источником света), Lang-тестом и Fly-тестом [1].

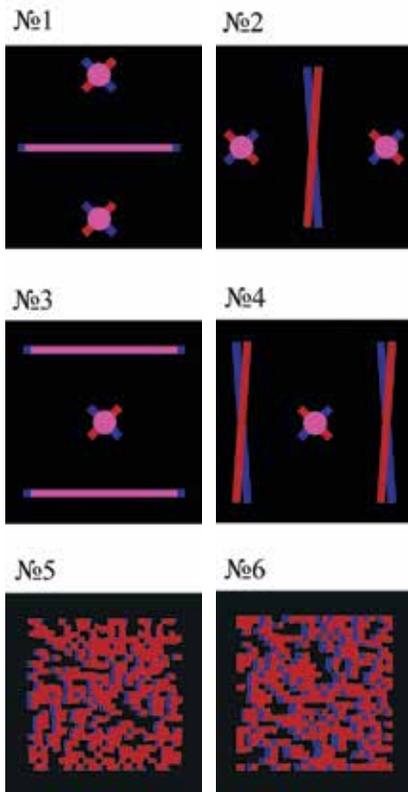
На следующем этапе работы использовали серию стереостимулов (рис. 1, № 1–6), разработанных на основе стереоизображений, созданных J.Ninio [8]. Использованные в работе стереостимулы с центральным расположением элементов, создающих стереоэффект имели в центре изображения вертикальную (рис. 1, № 1) или горизонтальную (рис. 1, № 2) полосы. При успешной фузии и способности к стереовосприятию вертикальные полосы создавали эффект наклона относительно горизонтальной оси, а горизонтальные полосы – эффект разворота вокруг вертикальной оси. Данные изображения содержали также периферически расположенные объекты для слияния, представляющие собой одинакового размера кружки лилового цвета (бинокулярная часть изображения, видимая через красно-синие светофильтры и тем и другим глазом), и проходящие через кружок маркировочные короткие полосы – синюю для одного глаза и красную для другого.

Стереостимулы с периферическим расположением элементов, создающих стереоэффект, содержали на периферии изображения вертикальные полосы, создающие при успешной фузии эффект наклона (рис. 1, № 3) или горизонтальные полосы, создающие эффект разворота (рис. 1, № 4), а также центрально расположенные объекты для слияния.

В стереоизображениях с периферическим расположением полосок мы использовали одинаковое направление наклона для правой и левой вертикальных полосок и оди-

## Для корреспонденции:

Рычкова Светлана Игоревна,  
канд. мед. наук, ведущ. науч. сотрудник  
лаборатории физиологии зрения  
Института проблем передачи информации  
им. А.А. Харкевича РАН  
ORCID ID: 0000-0001-6764-8950  
E-mail: lana.rych@mail.ru



**Рис. 1.** Тестовые изображения, использованные в данном исследовании (варианты стереоизображений, содержащие элементы, видимые через красно-синие светофильтры: только правым глазом, только левым глазом, тем и другим глазом): № 1 – стереоизображение, содержащее центрально расположенную горизонтальную полосу, создающую при успешной фузии эффект разворота, и периферично расположенные объекты для слияния; № 2 – стереоизображение, содержащее центрально расположенную вертикальную полосу, создающую при успешной фузии эффект наклона, и периферично расположенные объекты для слияния; № 3 – стереоизображение, содержащее периферично расположенные горизонтальные полосы, создающие эффект разворота и центрально расположенный объект для слияния; № 4 – стереоизображение, содержащее периферично расположенные вертикальные полосы, создающие эффект наклона и центрально расположенный объект для слияния; № 5 – случайно-точечная стереограмма, создающая при успешной фузии и способности к стереовосприятию эффект горизонтального цилиндра; № 6 – случайно-точечная стереограмма, создающая при успешной фузии и способности к стереовосприятию эффект вертикального цилиндра.

**Fig. 1.** Test images used in this study (stereo image variants containing elements visible through red and blue light filters: right eye only, left eye only, both eyes): № 1 – a stereo image containing a centrally located horizontal bar that creates a reversal effect around the vertical axis when the fusion is successful, and peripheral objects for fusion; № 2 – a stereo image containing a centrally located vertical strip that creates a tilt effect when the fusion is successful, and peripheral objects to merge; № 3 – a stereo image containing peripheral horizontal bars that create a reversal effect and a centrally located object for fusion; № 4 – a stereo image containing peripheral vertical bars that create a tilt effect and a centrally located object for fusion; № 5 – random-dot stereogram creating in cases of the successful fusion and the ability to stereoperception effect of the horizontal cylinder; № 6 – random-dot stereogram creating in cases of the successful fusion and the ability to stereoperception effect of the vertical cylinder.

наковое направление разворота для верхней и нижней горизонтальных полосок. Мы считали это необходимым для того, чтобы избежать «скрученной» конфигурации возникающего стереообраза, усиливающей стереоэффект [9], и создающей за счет этого трудности для сравнения результатов со стимулами с центральным и с периферическим расположением полосок.

Кроме того, в работе использовали варианты случайно-точечных стереограмм, создающих при успешной фузии и способности к стереовосприятию эффект объемного цилиндра вертикального (рис. 1, № 5) или горизонтального (рис. 1, № 6).

Размер изображения на экране компьютера (моноблок apple) составлял 10x10 см. Диаметр кружка (объекта для слияния) 1 см (проекция данного объекта не превышает таким образом размер фoveальной зоны сетчатки) [10]. В изображениях с периферическим расположением вертикальных или горизонтальных полосок, создающих стереоэффект, они располагались на расстоя-

нии 3,5 см с каждой стороны от центрально расположенного объекта для слияния (проекции данных элементов изображения попадали, таким образом, на участки сетчатки, находящиеся за пределами макулы). В изображениях с центральным положением вертикальной или горизонтальной полосок объекты для слияния располагались в свою очередь также на расстоянии 3,5 см от центрального элемента. Цветовые характеристики деталей стимулов: для красных деталей – R 208, G 0, B 0, синих – R 38, G 0, B 220, лиловых – R 215, G 102, B 162.

Стимулы предъявлялись как в статичном варианте, так и в режимах альтернирования при помощи компьютерной программы, разработанной М.В. Жмуровым [11].

Испытуемый рассматривал изображение, предъявляемое на экране монитора, с расстояния 50 см от глаз через красный (для одного глаза) и синий (для другого глаза) светофильтры в условиях полной призмной компенсации угла косоглазия (для исследования способности

к бифовеальному слиянию и стереовосприятию под объективным углом косоглазия) и оптимальной очковой или контактной коррекции аметропии. При подборе призм добивались отсутствия установочных движений при обратном cover-тесте (закрывали фиксирующий глаз и наблюдали наличие или отсутствие установочных движений другого глаза).

Использовали три варианта альтернирующего предъявления стимулов: 1) режим с последовательным монокулярным предъявлением стимулов, соответствующих правому и левому глазу; 2) режим с наличием пустого интервала между монокулярными фазами; 3) режим с наличием бинокулярной фазы между монокулярными фазами. Длительность монокулярных и бинокулярных фаз, а также пустого интервала, задавалась исследователем произвольно и могла составлять от 10 до 1000 мс.

Математическую обработку полученного цифрового материала при помощи программных пакетов статистического анализа «Microsoft Excel-2007» и «StatSoft Statistica 6,0».

Достоверность статистических различий оценивали по t-критерию Стьюдента для выборок с нормальным распределением. Статистическая значимость была установлена на уровне 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании теста Баголина неустойчивое бинокулярное зрение наблюдалось у 22 детей общей группы, у остальных восьми детей выявлялась функциональная скотома. Результаты исследования стереозрения с Lang-тестом, Fly-тестом и статичным вариантом использованных в данной работе наших стереостимулов (в условиях призменной компенсации микродевиации) у всех пациентов были отрицательными. При этом нужно отметить, что при предъявлении наших стереоизображений с центральным расположением объекта для слияния, имеющего маркировочные (для каждого глаза) полосы устойчивое бифовальное слияние выявлялось у 12 детей, неустойчивое бифовальное слияние с периодическим переходом в небольшую диплопию – у пяти детей, неустойчивое бифовальное слияние с периодическим появлением функциональной скотомы (в виде исчезновения деталей, соответствующих косящему глазу) – у девяти детей и устойчивая функциональная скотома – у четырех детей.

Результаты предъявления стимулов в разных вариантах режима альтернирования представлены на диаграммах (рис. 2а-в). Нужно отметить, что у восьми детей общей группы (в четырех случаях у детей с устойчивой функциональной скотомой и еще в четырех – у детей имеющих неустойчивое бифовальное слияние с периодическим появлением функциональной скотомы) стереоэффект возникал только при использовании стереостимулов с периферическим расположением вертикальных или горизонтальных полосок во всех трех режимах альтернирующего предъявления. У 22 детей общей группы стерео-

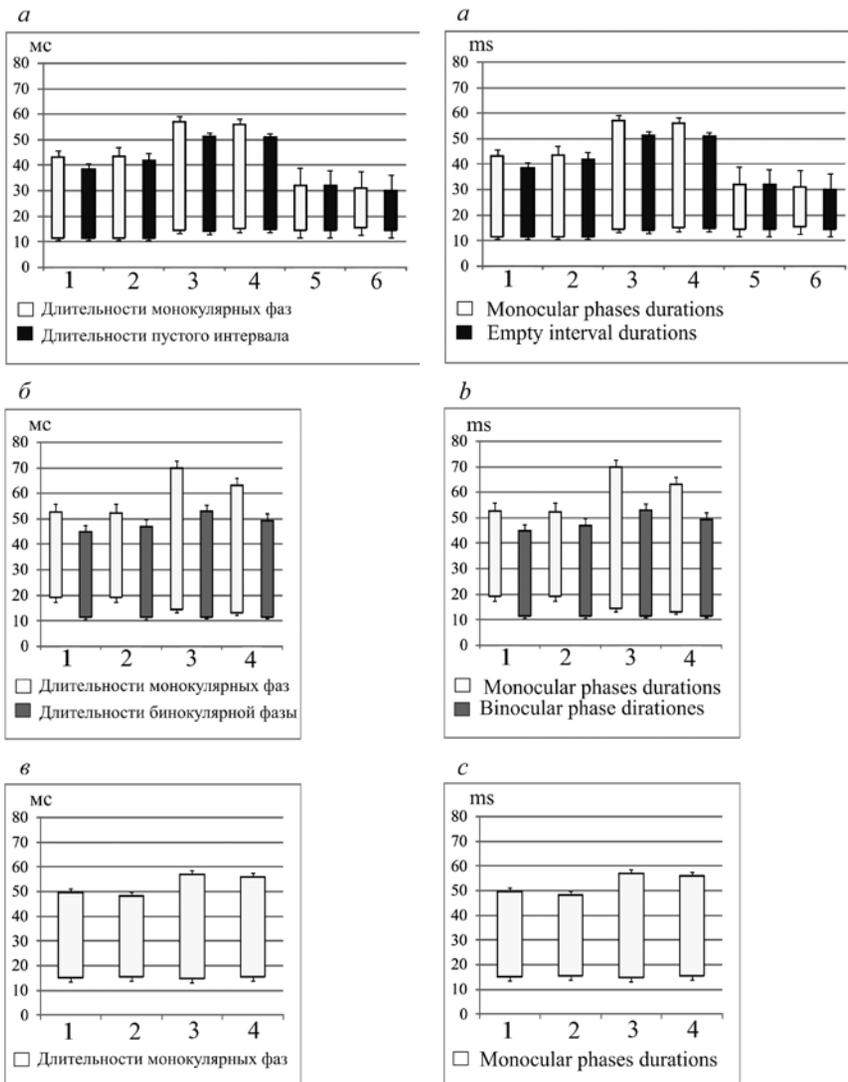
эффект возникал со стимулами как с периферическим, так и с центральным расположением полосок во всех трех вариантах их альтернирующего предъявления. Из этих детей эффект объема со случайно-точечными стереостимулами возникал лишь у девяти детей, имеющих устойчивое бифовальное слияние, и только в режиме предъявления изображений с наличием пустого интервала между монокулярными фазами.

Анализируя результаты, полученные при предъявлении изображений в режиме с наличием пустого интервала между монокулярными фазами (рис. 2а) нужно отметить, что сравнивая минимальные значения длительностей монокулярных фаз при использовании разных изображений достоверная разница ( $p < 0,05$ ) выявлялась только между средними значениями полученными при предъявлении стимулов с периферическими горизонтальными полосками ( $15,3 \pm 1,5$  мс) и стимулов с центрально расположенными горизонтальными полосками ( $11,4 \pm 0,6$  мс). Сравнивая максимальные значения длительностей монокулярных фаз при использовании разных изображений достоверная разница была выявлена между средними значениями для стимулов с периферическими вертикальными полосками ( $57 \pm 2,3$  мс) и с центральными вертикальными полосками ( $43,2 \pm 2,6$  мс) ( $p < 0,001$ ), а также между средними значениями для стимулов с периферическими горизонтальными полосками ( $56 \pm 2,1$  мс) и центральными горизонтальными полосками ( $43,6 \pm 3,4$  мс) ( $p < 0,002$ ). Максимальная длительность монокулярных фаз для случайно-точечных стимулов создающих эффект вертикального цилиндра ( $32,2 \pm 5,8$  мс) и горизонтального цилиндра ( $31,1 \pm 6,7$  мс) была достоверно ниже максимальной длительности для стимулов с периферическими вертикальными и горизонтальными полосками ( $p < 0,001$ ).

Сравнивая минимальные длительности пустого интервала нужно отметить, что также как и при сравнении монокулярных фаз, достоверная разница ( $p < 0,05$ ) выявлялась толь-

ко между значениями для стимулов с периферическими горизонтальными полосками ( $15 \pm 1,4$  мс) и значениями для стимулов с центрально расположенными горизонтальными полосками ( $11,4 \pm 0,6$  мс). При сравнении максимальных длительностей достоверная разница наблюдалась между значениями для стимулов с периферическими вертикальными полосками ( $51,3 \pm 1,5$  мс) и стимулов с центральными вертикальными полосками ( $38,6 \pm 2,2$  мс) ( $p < 0,001$ ), а также между значениями для стимулов с периферическими горизонтальными полосками ( $51 \pm 1,4$  мс) и центральными горизонтальными полосками ( $41,8 \pm 3$  мс) ( $p < 0,01$ ). Максимальная длительность пустого интервала для случайно-точечных стимулов, создающих эффект вертикального цилиндра ( $32,2 \pm 5,8$  мс) и горизонтального цилиндра ( $30 \pm 6,4$  мс) также была достоверно ниже максимальной длительности для стимулов с периферическими вертикальными и горизонтальными полосками ( $p < 0,001$ ).

Проводя анализ результатов, полученных при предъявлении стимулов № 1-4 в режиме с наличием бинокулярной фазы между монокулярными фазами (рис. 2б), не было выявлено достоверной разницы минимальных значений длительностей монокулярных фаз, составлявших от  $13,3 \pm 1,1$ – $14,6 \pm 1,4$  мс для стимулов с периферическими горизонтальными и вертикальными полосками и до  $19,1 \pm 1,8$  мс для стимулов с центральными горизонтальной или вертикальной полосками. Однако, сравнивая минимальные значения длительностей монокулярных фаз в режиме с наличием бинокулярной фазы и минимальные значения длительностей монокулярных фаз в режиме с наличием пустого интервала между монокулярными фазами нужно отметить достоверно более высокие значения в режиме с наличием бинокулярной фазы ( $19,1 \pm 1,8$  мс) по сравнению со значениями в режиме с наличием пустого интервала ( $11,4 \pm 0,6$  мс) для стимулов с центральным расположением горизон-



**Рис. 2.** Диапазоны длительностей монокулярных фаз, бинокулярной фазы и пустого интервала, при которых у пациентов было возможно стереовосприятие в разных режимах предъявления стимулов: а) в режиме альтернирующего предъявления стимулов с наличием пустого интервала между монокулярными фазами; б) в режиме альтернирующего предъявления стимулов с наличием бинокулярной фазы между монокулярными фазами; в) в режиме чередования монокулярных фаз.

По вертикальной оси – время (мс), по горизонтальной оси – номера тестовых изображений

**Fig. 2.** The ranges of durations of monocular phases, a binocular phase and an empty interval at which patients were able to stereo-perception in different modes of stimuli presentation: a) in the mode of alternating presentation of the stimuli with the presence of an empty interval between monocular phases; б) in the mode of alternating presentation of the stimuli with the presence of binocular phase between monocular phases; c) alternating monocular phases.

Vertical axis – time (ms), horizontal axis – numbers of test images

тальной или вертикальной полосок ( $p < 0,01$ ). Максимальные значения длительностей монокулярных фаз в режиме с наличием бинокулярной фазы были достоверно ниже для стимулов с центральным расположением горизонтальной полоски ( $52,3 \pm 3,4$  мс) чем для стимулов с пе-

риферическим расположением горизонтальных полосок ( $63 \pm 2,9$  мс) ( $p < 0,05$ ), а также значительно ниже чем для стимулов с периферическим расположением вертикальных полосок ( $70 \pm 2,7$  мс) ( $p < 0,001$ ).

Минимальные длительности бинокулярной фазы были практиче-

ски равнозначны для стимулов с центральным расположением вертикальной или горизонтальной полосок ( $11,4 \pm 0,6$  мс) и для стимулов с периферическим расположением вертикальных или горизонтальных полосок ( $11,6 \pm 0,7$  мс). Достоверная разница отмечалась только между максимальными значениями для стимулов с периферическим расположением вертикальных полосок ( $53 \pm 2,5$  мс) и центральным расположением вертикальной полоски ( $45 \pm 2,3$  мс) ( $p < 0,02$ ).

В режиме поочередного предъявления стимулов для правого и для левого глаза (рис. 2в) минимальные длительности монокулярных фаз практически не отличались для разных стимулов и составляли:  $15 \pm 1,6$  мс для стимулов с центральным расположением горизонтальной полоски,  $15,5 \pm 1,6$  мс для стимулов с центральным расположением вертикальной полоски,  $14,6 \pm 1,4$  мс для стимулов с периферическим расположением вертикальных полосок и  $15,3 \pm 1,5$  мс для стимулов с периферическим расположением горизонтальных полосок. При сравнении максимальных значений длительностей монокулярных фаз в данном режиме достоверная разница ( $p < 0,05$ ) выявлена между значениями для стимулов с периферическим расположением горизонтальных полосок ( $56 \pm 2,1$  мс) и стимулов с центральным расположением горизонтальной полоски ( $48,2 \pm 2,3$  мс), а также между стимулами с периферическим расположением вертикальных полосок ( $57 \pm 2,3$  мс) и центральным расположением вертикальной полоски ( $49,5 \pm 2,7$  мс).

Появление стереоэффекта в условиях альтернирующего предъявления стереостимулов при отсутствии стереовосприятия с теми же стимулами, но при статичном их предъявлении можно, вероятно, сравнить с более легким возникновением стереоэффекта при наблюдении динамических стереостимулов по сравнению со статичными [12, 13].

Наши наблюдения, касающиеся более благоприятных условий

для совместной работы глаз, создаваемых в режиме альтернирующего предъявления стимулов с наличием пустого интервала между монокулярными фазами, согласуются с данными недавнего исследования, проведенного в группе пациентов с амблиопией (в том числе дистрибуционной). Авторы использовали магнитоэнцефалографию в комбинации с диоптрической зрительной стимуляцией у пациентов с амблиопией. Было отмечено запаздывание интерокулярных процессов приблизительно на 20 мс в группе пациентов с амблиопией по сравнению с контрольной группой. Отмечено также снижение бинокулярного взаимодействия у пациентов с амблиопией при частоте диоптрической стимуляции более 3 Гц [14]. Можно предположить, что при наличии пустого интервала между поочередными монокулярными предъявлениями стимулов уменьшается ингибирующее влияние лучше видящего (соответственно чаще фиксирующего) глаза на амблиопичный (косящий) глаз.

Интересным фактом является более легкое восприятие стереоэффекта, создаваемое периферическими элементами по сравнению с центрально расположенными. Вероятно, процесс торможения приема и переработки зрительной информации, идущей от центральной зоны сетчатки косящего глаза, препятствует возникновению стереоэффекта, создаваемого центрально расположенными элементами изображения. При этом нужно учитывать, что функциональное торможение является активным процессом, имеющим сложную пространственно-временную структуру [7, 15–17]. Можно предположить, что неустойчивое неглубокое торможение зрительной информации, идущей от более периферических зон сетчатки у тех же пациентов, не является серьезным препятствием для появления стереоэффекта, создаваемого

периферическими элементами стимулов, предъявляемых в режиме альтернирования.

Таким образом, наши результаты свидетельствуют о том, что стереовосприятие у детей с послеоперационной остаточной микродевиацией в принципе возможно при условии оптимального выбора характеристик стимулов и режима их предъявления. Полученные в нашем исследовании данные являются перспективными для дальнейшей разработки способов развития и восстановления бинокулярных функций у пациентов с остаточной послеоперационной микродевиацией, что необходимо для закрепления и улучшения результатов хирургического этапа лечения.

## ВЫВОДЫ

1. Достижение стереоэффекта возможно у детей с остаточной послеоперационной микродевиацией в условиях оптимального режима альтернирующего предъявления стереостимулов с определенными характеристиками.

2. Наиболее эффективными из использованных нами изображений являются стимулы с периферическим расположением элементов, создающих стереоэффект при успешной фузии.

3. Режим альтернирующего предъявления стимулов с наличием пустого интервала между монокулярными фазами создает более благоприятные условия для возникновения стереоэффекта по сравнению с режимом альтернирующего предъявления стимулов с наличием бинокулярной фазы между монокулярными фазами и по сравнению с режимом чередования монокулярных фаз.

4. Стереовосприятие со случайно-точечными стереограммами вызывает серьезные затруднения у большинства детей с послеоперационной микродевиацией, но возможно в неко-

торых случаях при использовании режима альтернирующего предъявления стимулов с наличием пустого интервала между монокулярными фазами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kanski J. Clinical ophthalmology. Wroc aw: Elsevier Urban & Partner, 2009.
2. Рыков С.А., Сенякина А.С. Виды косоглазия и их классификация. Российская детская офтальмология. 2013;2: 45–52. [Rykov SA, Senyakina AS. Types of strabismus and their classification. Russian ophthalmology of children. 2013;2: 45–52 (In Russ.).]
3. Amortila M. La correspondance r tienne en pratique. Revue Francophone d'Orthoptie. 2018;11(2): 120–126. doi:10.1016/j.rfo.2018.05.005.
4. Espinasse-Berrod M-A. Strabologie: approches diagnostique et therapeutique, 3e edition. Paris: Elsevier, 2018.
5. Азнаурян И.Э., Шпак А.А., Баласанян В.О. Арагулян С.Г. Новый метод восстановления сенсорной фузии путем попеременного разобщения полей зрения (предварительное сообщение). Российская детская офтальмология. 2018;1: 20–24. [Aznayryan IE, Shpak AA, Balasanyan VO, Agagulyan SG. A new method of restoration of sensory fusion by alternating separation of the fields of view (preliminary message). Russian ophthalmology of children. 2018;1: 20–24 (In Russ.).]
6. Рычкова С.И. Фазовая гаплоскопия и особенности стереовосприятия при косоглазии. Вестник офтальмологии. 2018;4: 11–16. [Rychkova SI. Phase haploscope and stereoperception in strabismus. The Russian Annals of Ophthalmology. 2018;4: 11–16 (In Russ.).]
7. Levi DM, Knill DC, Bavelier D. Stereopsis and amblyopia: A mini-review. Vision Research. 2015;114: 17–30. doi:10.1016/j.visres.2015.01.002.
8. Rychkova S, Ninio J. Alternation frequency thresholds for stereopsis as a technique for exploring stereoscopic difficulties. Perception. 2011;2(1): 50–68. doi:10.1068/i0398.
9. Wardle SG, Palmisano S, Gillam BJ. Monocular and binocular edges enhance the perception of stereoscopic slant. Vision Research. 2014;100: 113–123. doi:10.1016/j.visres.2014.04.012.
10. Аклаева Н.А. Бинокулярная диплопия: диагностика и лечение. Российская педиатрическая офтальмология. 2016;2: 93–98. [Aklava NA. Binocular diplopia: the diagnostics and treatment. Rossiiskaya pediatricheskaya oftal'mologiya. 2016;2: 93–98 (In Russ.).]
11. Rychkova S, Gracheva M, Zhmurov M. Alternation frequency ranges for stereopsis in patients with strabismus. Perception. 2016;45(2). Suppl: 300. doi:10.1177/0301006616671273.
12. Legault I, Faubert J. Perceptual-cognitive training improves biological motion perception: evidence for transferability of training in healthy aging. Neuroreport. 2012;23(8): 469–73. doi:10.1097/wnr.0b013e328353e48a.
13. Faubert J. Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. Scientific reports. 2013;3(1): 1154–56. doi:10.1038/srep01154.
14. Chadnova E, Reynaud A, Clavagnier S, Hess RF. Latent binocular function in amblyopia. Vision Research. 2017;140: 73–80. doi:10.1016/j.visres.2017.07.014.
15. Рычкова С.И., Короленко А.В. Исследование функциональной скотомы с помощью жидкокристаллических очков. Сибирский медицинский журнал. 2005;6: 60–61. [Rychkova SI, Korolenko AV. Study of functional scotoma using liquid crystal glasses. Sibirskii meditsinskii jurnal. 2005;6: 60–61 (In Russ.).]
16. Chaumont P. L'inhibition a la relecture de Hamburger. J. Fr. Orthoptique. 1995;27: 27–36.
17. Economides JR, Adams DL, Horton JC. Perception via the deviated eye in strabismus. J. Neurosci. 2012;32(30): 10286–95. doi:10.1523/jneurosci.1435-12.2012.

Поступила 01.02.2019