

УДК 612.843.721

## ЧАСТОТНЫЕ ПОРОГИ ВОСПРИЯТИЯ СТЕРЕООБРАЗОВ ПРИ ПОПЕРЕМЕННОМ ПРЕДЪЯВЛЕНИИ ЛЕВОГО И ПРАВОГО ИЗОБРАЖЕНИЙ СТЕРЕОПАРЫ У ДЕТЕЙ С ОФТАЛЬМОПАТОЛОГИЕЙ

© 2015 г. С. И. Рычкова

ФГБУН Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва

E-mail: lana.rych@mail.ru

Поступила в редакцию 23.02.2014 г.

Приведены результаты оценки минимальной частоты попеременного предъявления левого и правого изображений стереотестов, при которой возможно возникновение стереоэффекта у детей с офтальмопатологией, включающей или не включающей бинокулярные расстройства. Показано, что у всех испытуемых без нарушений бинокулярного зрения при определенных частотах стимуляции возникал стереоэффект, как с линейными, так и со случайно-точечными изображениями. При этом для восприятия случайно-точечных стереотестов требовалась более высокая частота попеременного предъявления стимулов, чем для простых линейных изображений. Установлено, что около 90% детей с нарушениями бинокулярного зрения, несмотря на отрицательные результаты исследования стереозрения по стандартным статическим стереотестам, были способны к восприятию объема в условиях попеременного предъявления простых линейных стереоизображений. Однако для получения стереоэффекта таким пациентам требовалась более высокая частота предъявления стимулов, чем испытуемым с сохраненными бинокулярными функциями. К восприятию объема при тестировании случайно-точечными изображениями была способна лишь небольшая часть (около 30%) детей с нарушениями бинокулярного зрения и для этого требовалась высокая частота (больше 30 Гц) попеременного предъявления стимулов.

*Ключевые слова:* бинокулярное зрение, попеременное предъявление стимулов, стереовосприятие.

DOI: 10.7868/S0131164615010129

Возможности использования попеременного предъявления изображений отдельно правому и левому глазу для развития бинокулярных зрительных функций и повышения остроты зрения давно привлекают внимание офтальмологов и физиологов [1–3]. Классическим, широко известным в офтальмологии прибором, позволяющим предъявлять изображения в альтернирующем режиме, является синоптофор [4]. Недостатком данного способа является не только фазовое (по времени), но и механическое разделение полей зрения, а также ограниченный диапазон частот предъявления стимулов. В связи с этим, в последние годы в лечении косоглазия и амблиопии офтальмологи с успехом используют жидкокристаллические очки, действие которых основано на фазовом (по времени) разделении полей зрения правого и левого глаза [5]. Данный способ не предусматривает механического разделения полей зрения и имеет гораздо больший диапазон варьирования частоты предъявления стимулов по сравнению с синоптофором. Показано, что использование принципа фазовой гаглоскопии в

консервативном лечении косоглазия позволяет уменьшать или полностью устранять остаточный угол девиации, развивать фузионную способность и бинокулярное зрение у большинства пациентов. У пациентов с амблиопией занятия с жидкокристаллическими очками позволяют существенно повысить остроту зрения.

Принцип фазовой гаглоскопии используют и в некоторых специальных компьютерных программах, созданных для тренировки бинокулярных функций. В комплексе жидкокристаллические очки — компьютер альтернирующий режим предъявления изображений правому и левому глазу создается за счет координированной работы процессора и жидкокристаллических очков [6]. При этом данные компьютерные программы работают только на высоких частотах (72 Гц и выше), что обеспечивает хороший стереоэффект, но не позволяет определить минимальные (пороговые) значения частот, необходимые для возникновения ощущения объема при использовании стереоизображений с различными характеристиками.

**Таблица 1.** Данные офтальмологического обследования испытуемых

Показатели зрительных функций		Дети без нарушений бинокулярного зрения (32 человека)		Дети с нарушениями бинокулярного зрения (34 человека)	
		число пациентов	%	число пациентов	%
Рефракция	Миопическая	21	65.6	18	52.9
	Гиперметропическая	8	25	13	38.2
	Эмметропическая	4	12.5	3	8.8
Косоглазие	Сходящееся	0	0	25	73.5
	Расходящееся	0	0	9	26.5
Характер зрения	Бинокулярный	32	100	0	0
	Бинокулярный неустойчивый	0	0	10	29.4
	Одновременный	0	0	22	70.6
Состояние фузионной способности	Нормальная корреспонденция сетчаток	32	100	34	100
	Функциональная скотома	0	0	0	0
Наличие стереозрения	Lang-test	32	100	0	0
	Fly-test	32	100	0	0

Таким образом, несмотря на востребованность принципа фазовой гаплоскопии, до сих пор отсутствует серьезное физиологическое обоснование режимов его использования. Данный способ применяется в офтальмологической практике без четкого представления о том, какие частоты необходимы для восприятия определенных характеристик стереоизображений и какие режимы альтернирующего предъявления стимулов при этом лучше использовать для тренировки бинокулярных функций. В связи с этим исследование пороговой частоты попеременного предъявления стереоизображений в норме и при нарушениях зрительных функций является актуальной проблемой и имеет большое значение для дальнейшего развития способов коррекции различных нарушений бинокулярного зрения.

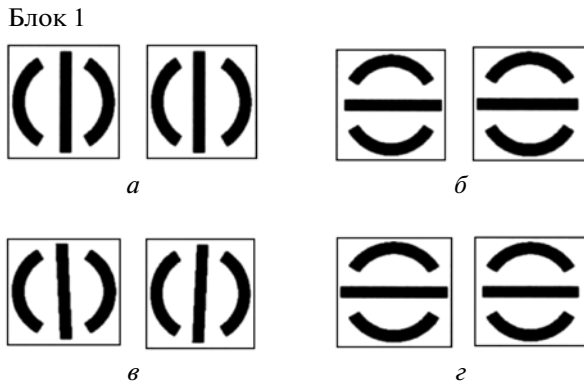
В предыдущих публикациях [7, 8] мы сообщали о результатах изучения пороговых частот попеременного предъявления стереоизображений у взрослых испытуемых, не имеющих нарушений зрительных функций.

Цель настоящей работы – оценка пороговых частот попеременного предъявления стереоизображений у детей с офтальмопатологией.

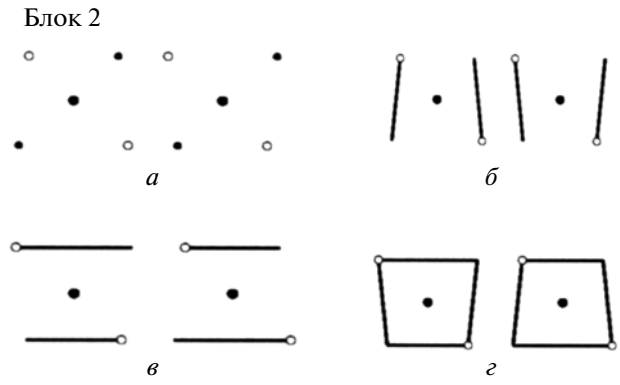
## МЕТОДИКА

Исследование проводили в группе пациентов с патологией рефракции без нарушений бинокулярного зрения (32 человека в возрасте от 10 до 15 лет) и в группе пациентов с патологией рефракции и нарушениями бинокулярных функций (34 человека в возрасте также от 10 до 15 лет). Стандартное офтальмологическое обследование включало определение остроты зрения, рефракции, положения зрительных осей, характера зрения по цветотесту, состояния фузионной способности при помощи синоптофора, состояния стереозрения при помощи классических стереотестов (Lang-test и Fly-test).

В первой группе пациентов (без нарушений бинокулярных функций) скорректированная острота зрения для расстояния 40 см от глаз составляла в среднем  $0.65 \pm 0.03$ . При этом разница в остроте зрения правого и левого глаза была не более 0.1. Во второй группе пациентов острота зрения составляла в среднем  $0.52 \pm 0.03$  и разница в остроте зрения правого и левого глаза также не превышала 0.1. Другие данные офтальмологического обследования пациентов обеих групп пред-



**Рис. 1.** Блок 1 – стереопары, включающие две дуги и центральную полосу. В результате фузии стереопар данного блока возникают следующие эффекты: смещение вертикальной (а) / горизонтальной (б) полосы вперед или назад относительно плоскости, в которой воспринимаются дуги; наклон вертикальной (в) / горизонтальной (г) полосы относительно плоскости, в которой воспринимаются дуги.



**Рис. 2.** Блок 2 – стереопары, содержащие одинаковые центральные кружки и дополнительные элементы в виде периферических кружков и отрезков, соответствующих вершинам (а), вертикальным сторонам (б), горизонтальным сторонам (в) и полным изображениям четырехугольников (г). В результате фузии стереопар данного блока возникает впечатление, что вершины четырехугольника располагаются на разной глубине.

ставлены в табл. 1. Дети второй группы имели остаточную микродевиацию (угол косоглазия меньше 10 градусов) после оперативного лечения содружественного косоглазия (12 человек) или непостоянный угол аккомодационного косоглазия (22 человека). Как видно из табл. 1, у всех детей с нормальным бинокулярным зрением результаты исследования стереозрения при помощи классических стереотестов были положительными, а у всех детей с нарушениями бинокулярного зрения – отрицательными.

Определение частоты альтернирующего предъявления стереоизображений, при которой у испытуемого появляется ощущение объема, проводили при помощи специальной компьютерной программы и тестовых изображений, разработанных J. Ninio (Laboratoire de Physique Statistique, Ecole Normale Supérieure, Paris, France).

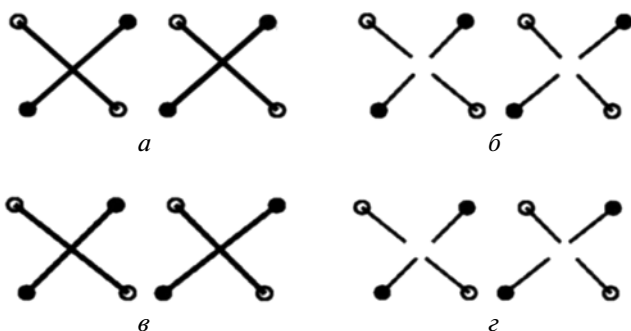
Тестовые изображения представляли собой пять блоков стереопар (по четыре стереопары в каждом блоке). Каждое тестовое изображение первого блока стереопар включало две дуги, соответствующие нулевому значению диспаратности, и полосу между дугами, относительное смещение которой на левом и правом изображении обеспечивало стереоэффект в процессе фузии стереотестов. При этом центральные полосы двух первых стереопар (рис. 1, а, б) блока 1 воспринимались как фронтопараллельные, т.е. расположенные во фронтальной плоскости ближе или дальше двух дуг. Центральная вертикальная полоска третьей стереопары (рис. 1, в) этого блока при слиянии изображений воспринималась наклонной относительно плоскости изображения из-за немного различной ориентации ее в ле-

вом и правом тестовых изображениях. В последней стереопаре (рис. 1, г) центральная горизонтальная полоска воспринималась наклонной относительно плоскости изображения вследствие разной длины горизонтальных полосок в левом и правом тестовых изображениях.

Четыре стереопары второго блока содержали центральный элемент в виде маленького кружка, соответствующего нулевой диспаратности, и четыре периферических кружка, соответствующие вершинам четырехугольника. Стереогаммы данного блока отличались характером соединения периферических элементов между собой. В первой стереопаре (рис. 2, а) блока 2 вершины четырехугольника не связаны, в следующей стереопаре (рис. 2, б) – соединены вертикальными отрезками, в третьей стереопаре (рис. 2, в) – горизонтальными отрезками, и в последней стереопаре (рис. 2, г) – горизонтальными и вертикальными отрезками.

Стереопары третьего блока представляли собой четыре периферических элемента (как в блоке 2), соединенных перекрещенными линиями. В первой стереопаре (рис. 3, а) данного блока перекрещенные линии воспринимались при слиянии изображений расположенными во фронтальных плоскостях на разной глубине. Третья стереопара (рис. 3, в) блока 3 создавала при слиянии эффект наклона перекрещенных линий относительно плоскости изображения. Вторая и четвертая стереопары (рис. 3, б, г) представляли собой аналог первой и третьей стереопар (рис. 3, а и в), но с прерывающимися в центральной зоне перекрещенными линиями.

Блок 3



**Рис. 3.** Блок 3 – стереопары, в которых четыре периферических элемента соединены: целыми перекрещенными линиями, воспринимаемыми в результате фузии во фронтальных плоскостях на разной глубине (*а*); аналогичными линиями, с разрывом в центральной зоне (*б*); целыми перекрещенными линиями, создающими при фузировании эффект наклона относительно плоскости изображения (*в*); аналогичными перекрещенными линиями с разрывом в центральной зоне (*г*).

В стереопарах четвертого блока использовали случайно-точечные стереограммы, порождающие при успешной фузии образы изогнутых объемных поверхностей: сферы (рис. 4, *а*), согнутого листа (рис. 4, *б*), вертикального цилиндра (рис. 4, *в*) и горизонтального цилиндра (рис. 4, *г*).

Пятый блок стереопар включал случайно-точечные изображения (варианты стереограмм Julesz), создающие при успешной фузии зрительные образы фронтальнопараллельных прямоугольников, расположенных по глубине ближе или дальше плоскости изображения. Две первые стереопары (рис. 5, *а*, *б*) данного блока, в которых горизонтальный (рис. 5, *а*) и вертикальный (рис. 5, *б*) прямоугольники представлены в явном виде, служили контролем для скрытых прямоугольников – вертикального (рис. 5, *в*) и горизонтального (рис. 5, *г*).

Во время исследования испытуемого усаживали перед монитором компьютера на расстоянии 50 см на уровне глаз. Правое и левое тестовые изображения каждой стереопары предъявлялись на экране монитора в альтернирующем режиме. При этом одно изображение было красным, а другое – зеленым. Испытуемый наблюдал каждую предъявляемую стереопару в течение двух минут через красно-зеленые очки и должен был определить – является ли изображение объемным или остается плоским и (в случае появления ощущения глубины) – какие детали воспринимаются ближе, а какие дальше фона. Частоту предъявления стимулов исследователь мог менять произвольно, не прерывая работу программы. При этом каждое изменение частоты предъявления

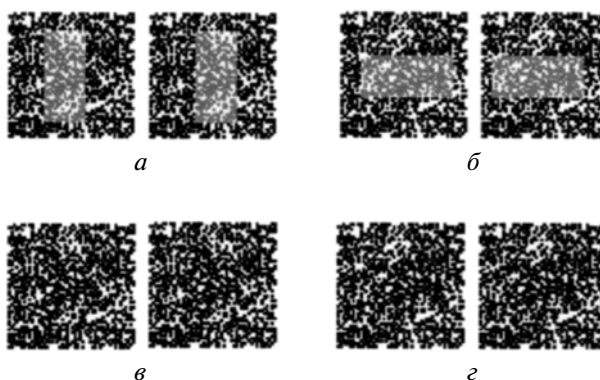
Блок 4



**Рис. 4.** Блок 4 – случайно-точечные стереограммы, порождающие при успешной фузии образы изогнутых объемных поверхностей: сферы (*а*), согнутого листа (*б*), вертикального цилиндра (*в*) и горизонтального цилиндра (*г*).

стимулов сопровождалось автоматической сменной знака диспаратности и соответствующим изменением восприятия объема (выступающие детали становились западающими, и наоборот). Это обеспечивалось переменной мест правого и левого изображений в стереопаре и служило для исключения элемента угадывания в ответах испытуемых. Для каждого испытуемого использовали случайный порядок предъявления стереотестов. Пороговой считали минимальную частоту попеременного предъявления стимулов, при которой у испытуемого появлялось правильное (соответствующее знаку диспаратности) восприятие стереоэффекта.

Блок 5



**Рис. 5.** Блок 5 – случайно-точечные стереограммы, создающие при успешной фузии зрительные образы фронтальнопараллельных прямоугольников, расположенных по глубине ближе или дальше плоскости изображения: выделенного яркостью вертикального (*а*); выделенного яркостью горизонтального (*б*); скрытого вертикального (*в*); скрытого горизонтального (*г*).

**Таблица 2.** Пороговые частоты альтернирующего предъявления стереостимулов

Стереотесты		Среднее значение пороговой частоты альтернирующего предъявления стереостимулов, Гц ( $M \pm m$ )		Дети с нарушениями бинокулярного зрения, способные к стереовосприятию в условиях альтернирующего предъявления стимулов	
		дети без патологии бинокулярного зрения (32 человека)	дети с нарушениями бинокулярного зрения (34 человека)	абсолютное число	%
Блок 1	<i>a</i>	$3.38 \pm 0.2$	$7.65 \pm 0.64$	32	94.1
	<i>б</i>	$3.73 \pm 0.2$	$9.6 \pm 1.02$	32	94.1
	<i>в</i>	$4.75 \pm 0.4$	$9.9 \pm 1.1$	29	85.3
	<i>г</i>	$5.18 \pm 0.4$	$10.1 \pm 1.04$	29	85.3
Блок 2	<i>a</i>	$4.72 \pm 0.4$	$8.61 \pm 1.02$	30	88.2
	<i>б</i>	$5.23 \pm 0.5$	$8.55 \pm 1.01$	29	85.3
	<i>в</i>	$5.4 \pm 0.4$	$9.21 \pm 1.2$	25	73.5
	<i>г</i>	$4.95 \pm 0.4$	$9 \pm 0.9$	31	91.2
Блок 3	<i>a</i>	$7.57 \pm 0.4$	$11.52 \pm 1.4$	18	52.9
	<i>б</i>	$4.62 \pm 0.3$	$8.1 \pm 0.7$	27	79.4
	<i>в</i>	$7.27 \pm 0.4$	$11.65 \pm 1.4$	23	67.6
	<i>г</i>	$4.8 \pm 0.3$	$9.54 \pm 1.2$	25	73.5
Блок 4	<i>a</i>	$9.05 \pm 0.5$	$16 \pm 1.1$	22	64.7
	<i>б</i>	$9.9 \pm 0.6$	$16.27 \pm 1.1$	26	76.5
	<i>в</i>	$10.34 \pm 0.7$	$17.36 \pm 1.2$	22	64.7
	<i>г</i>	$9.6 \pm 0.8$	$15.3 \pm 0.9$	24	70.6
Блок 5	<i>a</i>	$12.18 \pm 0.5$	$27.03 \pm 1.4$	28	82.35
	<i>б</i>	$11.55 \pm 0.5$	$25.44 \pm 1.2$	27	79.4
	<i>в</i>	$31.1 \pm 1.1$	$33.4 \pm 1.5$	11	32.35
	<i>г</i>	$31.12 \pm 1.03$	$38.2 \pm 1.5$	11	32.35

Статистический анализ результатов измерений проводили с использованием программы “Statistica” и значимость различий оценивали по критерию Стьюдента, считая их достоверными при  $p < 0.05$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все обследованные нами пациенты без нарушений бинокулярного зрения были способны к восприятию стереоэффектов при тестировании всеми предъявляемыми стереограммами. Среди пациентов с нарушениями бинокулярного зрения большинство (73.5–94.1%) были способны к вос-

приятию стереограмм блоков 1 и 2. К восприятию стереотестов с разорванными перекрещенными линиями (Блок 3, рис. 3, *б, г*) также были способны большинство пациентов (79.4 и 73.5% соответственно). Однако к стереовосприятию тестов с целыми перекрещенными линиями (Блок 3, рис. 3, *a, в*) были способны только чуть больше половины пациентов (52.9 и 67.6% соответственно). Большинство пациентов с нарушениями бинокулярного зрения воспринимали все стереообразы четвертого блока, а в пятом блоке – стереообразы, содержащие случайно-точечные прямоугольники, выделенные яркостью (Блок 5, рис. 5, *a, б*). Однако, при работе со случайно-точечными сте-

реотестами, содержащими скрытые прямоугольники, стереоэффект возникал только у 32,3% детей с нарушениями бинокулярного зрения.

Нужно отметить, что при попеременном предъявлении стереостимулов с частотой немного ниже пороговой все испытуемые, способные к стереовосприятию в данных условиях, наблюдали сначала появление неустойчивого стереописса на фоне эффекта “раскачивания” диспаратных деталей предъявляемой стереограммы. При дальнейшем увеличении частоты предъявления стимулов впечатление “раскачивания” деталей исчезало, и стереобраз приобретал устойчивую геометрию. Минимальную частоту попеременного предъявления стимулов, при которой возникал именно такой устойчивый стереоэффект, мы отмечали как пороговую.

Пороговые частоты альтернирующего предъявления стереостимулов представлены в табл. 2. Как видно из результатов исследования, в обеих группах детей наиболее низкие пороги частоты альтернирующего предъявления стимулов отмечались для стереограмм первого и второго блоков.

Для первого блока выявлялась статистически достоверная разница (по критерию Стьюдента,  $p < 0.05$ ) пороговых частот попеременного предъявления стимулов между стереограммами, создающими при успешной фузии фронтотопараллельный стереоэффект, и стереограммами, создающими эффект наклона. Данные различия были характерны как для изображений с горизонтальными, так и с вертикальными центральными полосками.

Во втором блоке пороговые частоты для стереопар, содержащих как вертикальные (Блок 2, рис. 2, б) так и горизонтальные (Блок 2, рис. 2, в) периферические отрезки, в обеих группах детей были в среднем немного выше, чем для стимула, имеющего в качестве периферических элементов только кружки (Блок 2, рис. 2, а) или фигуры полного четырехугольника (Блок 2, рис. 2, г). Однако эта разница была статистически недостоверной.

Характерной особенностью третьего блока стереопар являлись значительно более высокие пороги по частоте ( $p < 0.001$ ) для стереограмм в виде непрерывных перекрещенных линий (Блок 3, рис. 3, а, в), чем для стимулов в виде перекрещенных линий с разрывом в центральной зоне (Блок 3, рис. 3, б, г).

Пороговые частоты четвертого блока стереопар были достоверно выше пороговых частот стереопар предыдущих блоков ( $p < 0.05$ ). При этом следует отметить, что для возникновения стереообраза текстурированного цилиндра с вертикальной осью (Блок 4, рис. 4, в) в группе детей с патологией бинокулярного зрения требовалась намного более высокая частота предъявления

стимулов, чем для цилиндра с горизонтальной осью (Блок 4, рис. 4, г).

Пороговые частоты для всех стереопар пятого блока были значительно выше, чем для стереоизображений других блоков ( $p < 0.001$ ). При этом наиболее высокие пороги отмечались для случайно-точечных стереограмм со скрытыми прямоугольниками (как вертикальными, так и горизонтальными), как в группе детей с нормальными бинокулярными функциями, так и у детей с нарушениями бинокулярного зрения, способных к стереовосприятию в данных условиях.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В некоторых исследованиях, посвященных механизмам стереовосприятия, большая роль отводится участию стереоскопической памяти в процессе трехмерной интерпретации и поддержании стабильности стереоэффекта. Предполагается, что благодаря стереоскопической памяти возможно сохранение полученного в результате фузии восприятия глубины, несмотря на содружественные движения глаз, обеспечивающие перемещение взгляда по всему полю стереограммы [9]. Можно предположить, что в условиях альтернирующего предъявления изображений мозг получает полную информацию о тестовом изображении для левого глаза и сохраняет ее в течение некоторого времени после окончания предъявления. Качество этой информации постепенно ухудшается, в то время как мозг получает информацию от правого глаза. Во время “фазы правого глаза” может происходить сравнение свежей зрительной информации от правого глаза со следами зрительной информации, полученной от левого глаза [10].

Благодаря исследованиям участия зрительной памяти в восприятии сцены, в настоящее время существует представление о том, что благодаря движениям глаз локальная зрительная информация от разных частей сцены включается в единое восприятие сцены, построенной из собранных следов зрительной памяти. При этом глобальное представление сцены является намного более устойчивым, чем первичные зрительные образы, из которых оно было построено [11, 12].

Удивительный факт появления стереоэффекта в условиях попеременного предъявления стимулов у некоторых пациентов с нарушениями бинокулярного зрения, абсолютно не способных к стереовосприятию со статическими стереограммами, может объясняться различиями в работе механизмов бинокулярной конкуренции при кратковременной и длительной стимуляции [13–17].

Интересно также явление неустойчивого стереописса на фоне эффекта “раскачивания” дис-

паратных деталей стереограмм при альтернирующем предъявлении стимулов на субпороговых частотах. Это явление можно интерпретировать так, что на субпороговых частотах альтернирующего предъявления зрительной системе уже удается сформировать единый трехмерный образ, но еще неустойчивый, включающий как монокулярные, так и бинокулярный зрительные образы. Такое объяснение согласуется с результатами исследования отношений между стереокинетическими эффектами и статическим стереопсисом [18, 19]. Кроме того, данное явление может быть связано не только с продолжительностью обработки зрительной информации, но и с логикой ее обновления. Можно предполагать, что на субпороговой частоте предъявления стереостимулов уже формируется трехмерное представление на фоне ощущения попеременного характера поступления зрительной информации. При этом различные виды информации (позиционная и ориентационная информация, информация об абсолютной и относительной удаленности) могут затухать с разной скоростью и, таким образом, требовать различной частоты обновления для получения стабильного трехмерного восприятия.

Анализируя результаты нашего исследования, можно отметить, что наиболее легкими для восприятия, как у пациентов с нормальными бинокулярными функциями, так и с нарушениями бинокулярного зрения, являются стереограммы, включающие небольшое число элементов, расположенных на разных уровнях по глубине, когда нет таких характеристик как наклон, кривизна, сложная форма. Заслуживает внимания тот факт, что, согласно нашим наблюдениям, пороговые частоты для стереограмм, создающих эффект кривизны (Блок 4), были сопоставимы с пороговыми частотами для простых вариантов стимулов, создающих эффект наклона (Блок 1, рис. 1, б и г). Наши измерения дополняют результаты исследований относительной скорости определения наклона по сравнению со скоростью определения кривизны [20, 21]. Наше наблюдение, что текстурированный цилиндр с вертикальной осью (Блок 4, рис. 4, в) является фигурой более трудной для стереовосприятия, чем текстурированный цилиндр с горизонтальной осью (Блок 4, рис. 4, г) для пациентов с нарушениями бинокулярного зрения, согласуется с работами некоторых исследователей в области психофизиологии [22].

Интересными являются также наши данные о более высокой пороговой частоте альтернирующего предъявления стимулов, требующейся для восприятия длинных перекрещенных линий по сравнению с аналогичными линиями с разрывом в центральной зоне изображения (Блок 3) у пациентов обеих групп. Мы предполагаем, в соответствии с предыдущими исследованиями, что существуют два способа оценки наклона небольшо-

го сегмента [23]. Один механизм — не прямой, но быстрый, использует различные положения в пространстве конечных точек сегментов. Другой механизм определения наклона может использовать ориентационную диспаратность. Этот путь более прямой, но более медленный. Вероятно, механизм определения положения конечных точек доминирует, когда сегменты короткие, как в случае стереограмм с разорванными в центральной зоне перекрещенными линиями (Блок 3, рис. 3, б и г). Это подтверждается комментариями некоторых испытуемых о том, что им легче вначале воспринимать распределение по глубине четырех внутренних конечных точек, а затем — наружных частей. В противоположность этому, при анализе стереограмм с длинными сегментами ориентационная диспаратность может доминировать, замедляя тем самым стереовосприятие (Блок 3, рис. 3, а и в). Это согласуется с данными о том, что в зависимости от способа интерпретации зрительной информации окончательная оценка величины наклона больших поверхностей может занимать много времени [24].

Вполне закономерным представляется то, что наибольшие трудности восприятия у всех пациентов возникали со случайно-точечными стереограммами [25–28]. Даже в группе пациентов с нормальными показателями бинокулярного зрения требовалась частота альтернирующего предъявления около 30 Гц для получения устойчивого стереоэффекта. Однако, несмотря на сложность интерпретации таких стереограмм, небольшая часть пациентов с патологией бинокулярного зрения могли воспринимать стереоэффект на частоте более 30 Гц. Скорее всего, у остальных пациентов данной группы зрительная система “не справлялась” с восприятием стимулов, предъявляемых с высокой частотой альтернирования, создающей условия, близкие к статическому предъявлению стереограмм. При уменьшении же частоты предъявления стимулов время хранения точной информации от одного глаза о сложной структуре случайно-точечного изображения было недостаточным для сравнения с поступающей свежей информацией от другого глаза.

В предыдущей работе [29] мы сообщали о разнице частотных порогов восприятия стереообразов при попеременном предъявлении левого и правого изображений у взрослых испытуемых без офтальмопатологии. Полученные нами результаты для взрослых были сходны с результатами, полученными в группе детей без нарушений бинокулярного зрения. Наиболее легкими для интерпретации у взрослых испытуемых с нормальными бинокулярными функциями также являлись простые стереограммы, включающие небольшое число элементов, без признаков наклона, кривизны и сложной формы. Пороговая частота альтернирующего предъявления таких простых стиму-

лов составляла у взрослых в среднем 2.5–2.8 Гц. Наибольшие трудности для взрослых, также как и для детей, представляли случайно-точечные стереограммы. Пороговые частоты для этих стереограмм составляли у взрослых в среднем 8.2–11.2 Гц.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мы надеемся, что полученные нами данные помогут более ясно представить иерархию трудностей стереовосприятия в зависимости от характеристик стереотестов в условиях альтернирующего режима их предъявления, как у испытуемых без патологии бинокулярного зрения, так и у пациентов с нарушениями бинокулярных функций. Кроме того, возможность восприятия некоторых стереограмм в условиях альтернирующего предъявления стимулов даже пациентами с патологией бинокулярного зрения открывает перспективы для применения используемого нами подхода к изучению проблем стереозрения в офтальмологической практике.

Исследование выполнено в ИППИ РАН за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00150).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ogle K.N.* Stereoscopic depth perception and exposure delay between images to the two eyes // *J. Optic. Soc. Amer.* 1963. V. 53. P. 1296.
2. *Рожкова Г.И., Васильева Н.Н.* Компьютерный метод оценки фузионных резервов с объективным контролем нарушения фузии // *Физиология человека.* 2010. Т. 36. № 3. С. 135.
3. *Чернышева С.Г., Самедова Д.Х.* Вторичная эзотропия: клинические факторы развития // *Росс. офтальмол. журн.* 2010. № 2. С. 35.
4. *Кащенко Т.П., Аклаева Н.А.* Содружественное косоглазие у детей // *Избранные лекции по детской офтальмологии* / Под ред. В.В. Нероева. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. С. 62.
5. *Chaumont P., Contal A., Grandperret R. et al.* Lunettes à cristaux liquides pour le traitement de certains strabismes // *Revue Européenne de Technologie Biomédicale.* 1982. V. 4. P. 305.
6. *Рычкова С.И., Шуко А.Г., Малышев В.В.* Бинариметр и жидкокристаллические очки в послеоперационной реабилитации детей с расходящимся содружественным косоглазием // *Росс. педиатр. офтальмол.* 2008. № 3. С. 34.
7. *Rychkova S., Ninio J.* Alternation frequency thresholds for stereopsis reveal different types of stereoscopic difficulties // *Perception.* 2009. V. 38. P. 59.
8. *Rychkova S.I., Rabitchev I.E., Ninio J.* Stereoscopic memory beyond stimuli persistence: the multiplicative effect of binocular intervals // *Perception.* 2010. V. 39. P. 161.
9. *Tyler C.W.* Sensory processing of binocular disparity // *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects.* Boston, 1983. P. 199.
10. *Ninio J.* Au coer de la memoire. Paris.: Odile Jacob, 2011. P. 54–120.
11. *Hollingworth A.* Visual memory for natural scenes // *Visual Memory.* New York: Oxford University Press, 2008. P. 123.
12. *Harris J.M.* Stereoscopic volume perception: effects of local scene arrangement across space and depth // *Perception.* 2013. V. 42. P. 13.
13. *O'Shea R.P., Corballis P.M.* Binocular rivalry between complex stimuli in split-brain observers // *Brain and Mind.* 2001. V. 2. P. 151.
14. *Blake R., Logothetis N.K.* Visual competition // *Nature Reviews: Neuroscience.* 2002. V. 3. P. 13.
15. *Chen X., He S.* Temporal characteristics of binocular rivalry: Visual field asymmetries // *Vision Res.* 2003. V. 43. P. 2207.
16. *Vidal-Naquet M., Gepshtein S.* Binocular matching by adaptive correlation // *Perception.* 2010. V. 39. P. 107.
17. *Wilcox L.M., Allison R.S.* Coarse-fine dichotomies in human stereopsis // *Vision Res.* 2009. V. 49. P. 2653.
18. *Read J.C., Cumming B.G.* Effect of interocular delay on disparity-selective V1 neurons: relationship to stereoaquity and the Pulfrich effect // *J. Neurophysiol.* 2005. V. 94. P. 1541.
19. *Farell B., Chai Y.-C., Fernandez J.* Projected disparity, not horizontal disparity, predicts stereo depth of 1-D patterns // *Vision Res.* 2009. V. 49. P. 2209.
20. *Devisme C., Drobe B., Monot A., Droulez J.* Stereoscopic depth perception in peripheral field and global processing of horizontal disparity gradient pattern // *Vision Res.* 2008. V. 48. P. 753.
21. *Rogers B.* Depth constancy and frontal-plane scaling in the absence of vertical disparities // *Perception.* 2012. V. 41. P. 16.
22. *Gillam B., Chambers D., Russo T.* Postfusional latency in slant perception and the primitives of stereopsis // *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance.* 1988. V. 14. P. 163.
23. *Ninio J.* L'empreinte des sens. Paris.: Odile Jacob, 2011. 280 p.
24. *Erkelens C.* Perceived slant of rectangular grids viewed on slanted screens // *Perception.* 2012. V. 41. P. 16.
25. *Julesz B.* Binocular depth perception without familiarity cues // *Science.* 1964. V. 145. P. 356.
26. *Gheorghui E., Erkelens C.J.* Differences in perceived depth for temporally correlated and uncorrelated dynamic random-dot stereograms // *Vision Res.* 2005. V. 45. P. 1603.
27. *Ninio J.* Designing visually rich, nearly random textures // *Spatial Vision.* 2007. V. 20. P. 561.
28. *Caziot B., Rolfs M., Backus B.* The orienting of attention across binocular disparity // *Perception.* 2013. V. 42. P. 14.
29. *Rychkova S.I., Ninio J.* Alternation frequency thresholds for stereopsis as a technique for exploring stereoscopic difficulties // *i-Perception.* 2011. V. 2. P. 1–17. doi.org/10.1068/i0398.



## **Frequency Thresholds for Stereopsis in the Case of Alternative Presenting the Left and Right Images of Stereopair in Children with Ophthalmopathy**

**S. I. Rychkova**

*E-mail: lana.rych@mail.ru*

In this paper, we report the results of estimating the minimum frequency of alternative left-right stereopair image presentation necessary to obtain stereopsis in children with ophthalmopathy including or not including binocular disorders. It was found that all subjects without binocular disorders had stereo-effect with linear as well as with random-dot images. However, for stereopsis with random-dot stereotests, all children needed higher frequency of alternation than for stereopsis with simple linear images. It appeared that about 90% of children with binocular disorders were capable to perceive depth when simple linear stereoscopic images were presented alternatively to the two eyes. However, these patients needed a higher frequency of alternation than children with normal binocular functions. Only a small part (about 30%) of children with binocular disorders was capable to stereopsis with complex random-dot images and they needed rather high frequency (more than 30 Hz) of alternation for success.

*Keywords:* binocular vision, alternative stimulation, stereopsis, threshold frequencies.