

## ЗАВИСИМОСТЬ СТЕРЕОКИНЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА ТЕСТОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ У ДЕТЕЙ С ЧАСТИЧНОЙ АТРОФИЕЙ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА

© 2019 г. С. И. Рычкова<sup>1, \*</sup>, Р. И. Сандимиров<sup>2, 3</sup>, Л. В. Кособуцкая<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет  
им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

<sup>3</sup>ГБОУ Школа № 1852, Москва, Россия

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

Поступила в редакцию 24.01.2019 г.

После доработки 27.02.2019 г.

Принята к публикации 03.04.2019 г.

Проведено исследование влияния скорости вращения и эксцентриситета плоского кольцевого тестового изображения на выраженность стереокинетического эффекта (СЭ), проявляющегося в виде поочередного восприятия виртуального конуса и виртуальной воронки, в группе из 36 детей в возрасте от 8 до 16 лет с частичной атрофией зрительного нерва (ЧАЗН) и контрольной группе, включающей 44 ребенка того же возраста с нормальным состоянием глазного дна. В качестве тест-объекта использовали четыре варианта кольцевого изображения с эксцентриситетом 0.2, 0.4, 0.6 и 0.8. Скорость вращения тестового изображения составляла 2, 10, 30, 60 или 90 об./мин. Показано, что стереокинетический эффект отсутствует у большинства детей с ЧАЗН (63.9%) при сочетании эксцентриситета 0.2 и скорости вращения 2 об./мин, в отличие от контрольной группы в которой при таких же условиях стереокинетический эффект отсутствует только у 9.1% детей. При скорости вращения тестового изображения 30–90 об./мин у детей с ЧАЗН и 10–90 об./мин у детей контрольной группы СЭ появляется при любом из использованных в работе эксцентриситетов. Количество детей с поочередным восприятием виртуального конуса и виртуальной воронки существенно больше в контрольной группе, чем в группе детей с ЧАЗН при всех использованных нами эксцентриситетах и скоростях вращения тестовых изображений. Бинокулярные оценки величины СЭ соответствуют монокулярным оценкам в группе детей с ЧАЗН при всех использованных нами условиях предъявления стимулов, в отличие от контрольной группы детей, где наблюдается общая тенденция к более высоким монокулярным оценкам величины СЭ при переходе от бинокулярных условий наблюдения к монокулярным. Увеличение скорости вращения тестового изображения от 2 до 60 об./мин сопровождается повышением значений оценки величины СЭ, а также к ускорению чередования восприятия виртуального конуса и виртуальной воронки в обеих группах испытуемых при всех использованных нами эксцентриситетах. Отличия результатов, полученных в группе детей с ЧАЗН от результатов, полученных в контрольной группе можно, вероятно объяснить снижением афферентного потока зрительной информации. Эти отличия частично компенсируются повышением скорости движения и увеличением эксцентриситета тестового изображения.

*Ключевые слова:* стереокинетический эффект, частичная атрофия зрительного нерва, пространственное восприятие.

DOI: 10.1134/S0131164619040143

В настоящее время в литературе используется несколько близких по смыслу терминов, касающихся исследования иллюзий глубины, вызываемых движущимися двухмерными стимулами: 1) стереокинетический эффект (*stereokinetic effect*), 2) кинетический эффект глубины (*kinetic depth effect*) или структура из движения (*structure from motion*), 3) параллакс движения (*motion parallax*).

Для исследования стереокинетического эффекта классически используются плоские криволинейные фигуры, такие как эллипсы или изображения, составленные из нескольких колец, вращающиеся вокруг линии зора наблюдателя [1, 2]. Наиболее полное раннее описание стереокинетического эффекта, возникающего при наблюдении изображений эллипсов и эксцентрических окружностей, вращающихся во фронто-па-

параллельной плоскости, было сделано в работах С. Musatti [2–4]. В последующих работах, посвященных изучению стереокинетического эффекта, возникающего при вращении кольцевого изображения, было обнаружено усиление стереокинетического эффекта в монокулярных условиях наблюдения и при увеличении эксцентриситета (смещения центра кольцевых элементов относительно центра изображения) [5]. Была выявлена зависимость стереокинетического эффекта от скорости вращения изображения [6].

В ряде исследований, проведенных на кафедре физиологии Иркутского университета в сотрудничестве с Пармским университетом, было также показано, что величина и характер стереокинетического эффекта зависят от расстояния до стимула, условий наблюдения (бинокулярные или монокулярные), от скорости и направления вращения стимула, освещенности и характера освещения (непрерывное или импульсное), от величины изображения и степени его дифференцировки. В качестве стимулов использовали рисованные кольцевые изображения, структурные стимулы и киноизображения. В результате многочисленных экспериментов, проведенных на животных разных видов, и наблюдений в группе пациентов с неврологической патологией было показано участие различных анатомо-функциональных структур (в частности верхнего двухолмия, проекционных и ассоциативных зон коры, проприоцептивной иннервации, структур управления движениями глаз) в пространственном восприятии [7–9].

Исследуя стереокинетический эффект у детей с нарушенным бинокулярным зрением Г.И. Рожкова и Н.Н. Васильева [10] использовали для количественной оценки влияния бинокулярного механизма восприятия глубины коэффициент  $K = (h_m - h_b)/h_m$ , где  $h_m$  – средняя для двух глаз монокулярная оценка глубины;  $h_b$  – бинокулярная оценка. При этом на основании полученных данных авторы предложили рассматривать индивидуальную вариабельность коэффициента К в зависимости от степени участия в процессе пространственного восприятия разных подсистем переработки информации: двух монокулярных, чисто бинокулярной, монобинокулярной и постмонокулярной [10–12].

Термин “кинетический эффект глубины” (*kinetic depth effect (KDE)*) впервые был использован Н. Wallach и D. O’Connell [13] для обозначения иллюзии объемной структуры, появляющейся при вращении проекции трехмерного объекта. Авторы объясняли существование данной иллюзии процессами ассоциации между двухмерной ретинальной проекцией и трехмерной структурой [13, 14]. Позже S. Ullman [15], наблюдая появление отчетливого ощущения объема при движении орто-

графической проекции двух прозрачных цилиндров, виртуальная поверхность которых состояла из “разбросанных” по ней точек, назвал тот же феномен “структурой из движения” (*structure from motion (SfM)*) и этот термин получил в дальнейшем более широкое распространение, чем KDE [1, 15].

В случаях, когда направление вращения определяется неоднозначно, в частности, в случае цилиндров Ульмана, однако, имеется два возможных движущихся объекта соответствующих одному и тому же двумерному паттерну – ситуация так называемой бистабильной структуры из движения (*bistable structure from motion*). Один из популярных примеров представляет собой изображение прозрачной сферы, вращающейся вокруг вертикальной оси, по поверхности которой в случайном порядке разбросаны точки. Когда смещение точек вызывает восприятие вращающейся трехмерной сферы, то направление ее вращения, как правило, неоднозначно и меняется через нерегулярные интервалы времени. Иногда движущиеся влево точки формируют переднюю поверхность сферы, а иногда – заднюю. При этом частота альтернации между этими двумя восприятиями возрастает, когда либо плотность, либо скорость смещения точек увеличивается [16–22].

Интересно, что в работах по изучению стереокинетического эффекта с рисованными кольцевыми изображениями [7–9] исследователи также отмечали возможность чередования восприятия стимула у испытуемых – в виде выступающего виртуального конуса или в виде виртуальной воронки. Однако в отличие от исследования стереокинетического эффекта со специальными инверсионными и безинверсионными стимулами, детального анализа самопроизвольной реверсии виртуального конуса и виртуальной воронки при наблюдении кольцевых изображений проведено не было.

Под термином параллакс движения (*motion parallax*) обычно понимают ситуации, в которых наблюдатель движется относительно объекта в отличие от SfM, включающей ситуации, в которых объект движется относительно наблюдателя [23–25].

Несмотря на то, что к настоящему времени накоплено большое количество экспериментальных данных о нейронных процессах, участвующих в пространственном восприятии [26–28], остается еще много вопросов, касающихся структурно-функциональной основы взаимодействия бинокулярных и монокулярных механизмов пространственного восприятия у человека. В связи с этим актуальными и перспективными представляются исследования стереокинетического эффекта у пациентов с различной патологией нервной системы и зрительного анализатора, напри-

мер, такой как частичная атрофия зрительного нерва.

Частичная атрофия зрительного нерва (ЧАЗН) – дегенеративный процесс в зрительном нерве и ганглиозных клетках сетчатки, возникающий в результате патологических изменений жизнедеятельности ганглиозных клеток и/или их аксонов. Врожденная ЧАЗН может быть следствием вредных факторов, действующих в пренатальном периоде или иметь генетические причины (аутосомно-доминантная или аутосомно-рецессивная форма заболевания). Клинически данное заболевание проявляется снижением остроты зрения, дефектами поля зрения, побледнением диска зрительного нерва, а также, в большинстве случаев, сопровождается вторичным косоглазием и нистагмом [29–32].

В предыдущей работе, посвященной исследованию стереокинетического механизма у детей с заболеваниями сетчатки и зрительного нерва было показано, что у данной категории детей изменены силовые взаимоотношения монокулярных и бинокулярных механизмов пространственного восприятия [33]. Исследование проводилось, однако, без учета влияния скорости вращения и эксцентриситета кольцевых изображений на восприятие глубины у таких детей. Кроме того не проводился анализ реверсии изображения в процессе эксперимента.

В связи с этим целью данной работы явилось исследование стереокинетического эффекта в зависимости от скорости вращения и эксцентриситета кольцевого изображения у детей с частичной атрофией зрительного нерва.

## МЕТОДИКА

Под наблюдением находилось 36 детей ЧАЗН в возрасте от 8 до 16 лет (в среднем 10.5 лет) и 44 ребенка контрольной группы с нормальным состоянием глазного дна того же возраста (в среднем 10.6 лет).

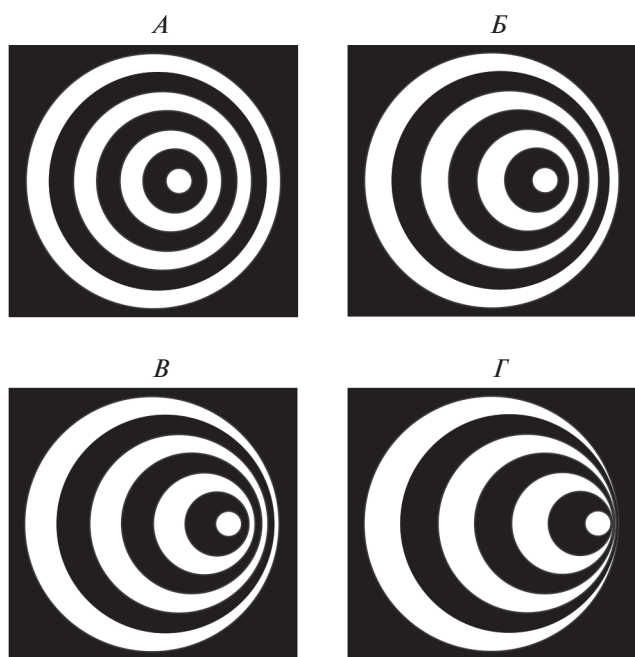
В группе детей с ЧАЗН скорректированная острота зрения составляла от 0.1 до 0.3 для каждого глаза (в среднем  $0.26 \pm 0.1$  для правого глаза и  $0.25 \pm 0.1$  для левого глаза). Все дети данной группы имели вторичное косоглазие (25 детей – сходящееся и 11 детей – расходящееся), а также врожденный мелкоамплитудный горизонтальный нистагм, усиливающийся в монокулярных условиях и в отведениях. Характер зрения у 22 детей был монокулярным альтернирующим, у трех детей – монокулярным монологатеральным и у остальных 11 детей – одновременным. Миопическую рефракцию имели восемь детей и гиперметропическую – 28 детей.

В контрольной группе скорректированная острота зрения составляла от 0.8 до 1.0 для каждого глаза

(в среднем  $0.97 \pm 0.1$  для правого глаза и  $0.95 \pm 0.1$  для левого глаза). Все дети данной группы имели ортотропию и бинокулярный характер зрения. Миопическую рефракцию имели 16 детей, гиперметропическую – 18 детей и эметропическую – 10 детей. Исследование проводили на базе школы-интерната г. Москвы для детей с патологией зрения.

В качестве тест-объекта использовали четыре варианта кольцевого изображения [7–9] с эксцентриситетом (отношением смещения центрального элемента кольцевого изображения от центра вращения к радиусу изображения) 0.2, 0.4, 0.6 и 0.8 (рис. 1). Варианты кольцевого изображения с разным эксцентриситетом предъявляли на экране ноутбука при помощи компьютерной программы, разработанной М.В. Жмуровым. Скорость вращения кольцевого изображения регулировали произвольно, она составляла 2, 10, 30, 60 или 90 об./мин. Диаметр кольцевого изображения на экране ноутбука был равен 20 см. Расстояние от глаз ребенка до изображения составляло 3 м. Исследование проводили в условиях оптимальной оптической коррекции при общем освещении 500 лк. Задачей испытуемого было оценить иллюзорный объем виртуального конуса или виртуальной воронки, возникающих при наблюдении вращающегося кольцевого изображения. Бинокулярная оценка предусматривала условия, при которых оба глаза испытуемого были открыты, а монокулярная – условия, при которых правый и левый глаз поочередно прикрывали светорассеивающей заслонкой. Для облегчения оценок выраженности стереокинетического эффекта рядом с ноутбуком расположили семь эталонных бумажных конусов с одинаковым основанием диаметром 20 см и высотой 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 35 см. Испытуемый должен был указать бумажный конус наиболее близкий по величине к виртуальному конусу или виртуальной воронке. Кроме того отмечали время доминирования у испытуемого виртуального конуса и виртуальной воронки при их чередовании (в секундах за 1 мин) и затем вычисляли средние значения времени доминирования того и другого варианта виртуальной фигуры.

Математическую обработку полученного цифрового материала проводили 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. Статистическую значимость установили на уровне 0.05.



**Рис. 1.** Тестовые фигуры для исследования стереокинетического эффекта.

Представлено четыре варианта кольцевого изображения с эксцентриситетом (отношением смещения центрального элемента кольцевого изображения от центра вращения к радиусу изображения): *a* – 0.2; *b* – 0.4; *v* – 0.6; *z* – 0.8.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

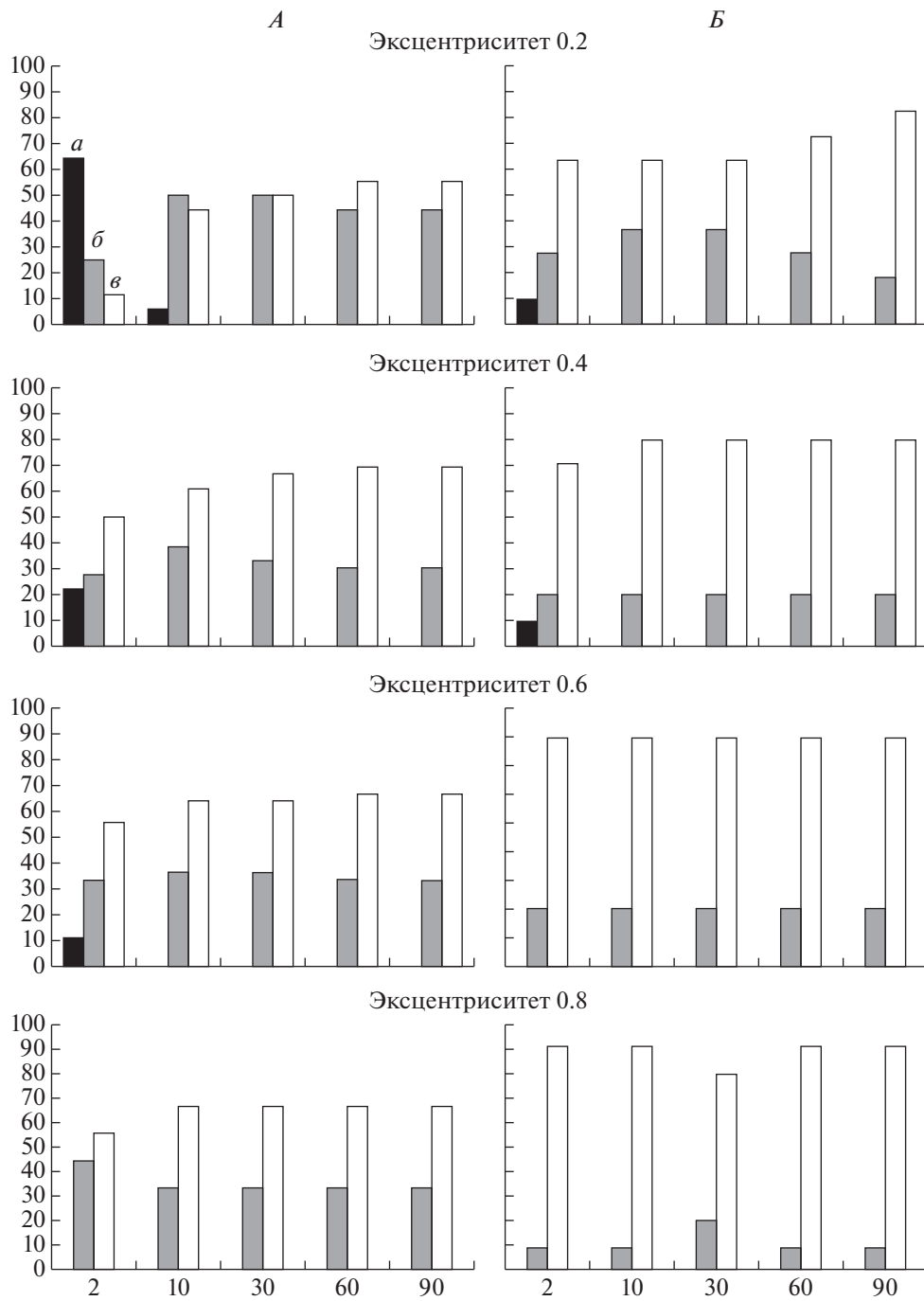
Результаты данного исследования приведены в виде гистограмм (рис. 2–4). Анализируя представленные данные нужно отметить отсутствие стереокинетического эффекта у большинства детей с ЧАЗН (63.9%) при предъявлении стимула с эксцентриситетом 0.2 со скоростью вращения 2 об./мин (рис. 2). В контрольной группе при таком же эксцентриситете и скорости вращения стереокинетический эффект отсутствовал только у 9.1% процента детей. При увеличении эксцентриситета до 0.4 и той же скорости вращения количество детей с отсутствием стереокинетического эффекта уменьшилось до 22.2% в группе детей с ЧАЗН и осталось прежним в контрольной группе. При эксцентриситете изображения 0.6 и той же скорости вращения 2 об./мин, количество детей с отсутствием стереокинетического эффекта сократилось уже до 11.1% в группе детей с ЧАЗН, а в контрольной группе стереокинетический эффект при данных условиях предъявления стимула наблюдался во всех случаях. Стереокинетический эффект наблюдался также у всех детей в обеих группах при эксцентриситете 0.8 даже при минимальной скорости вращения 2 об./мин.

При эксцентриситете 0.2 увеличение скорости вращения приводило к уменьшению количества

детей с отсутствием стереокинетического эффекта с 63.9% (при скорости вращения изображения 2 об./мин) до 5.5% (при скорости вращения изображения 10 об./мин), а при дальнейшем увеличении скорости вращения у всех детей с ЧАЗН появлялся стереокинетический эффект при любом эксцентриситете изображения. Такая же закономерность отмечалась и в контрольной группе – при скорости вращения изображения 10 об./мин и больше стереокинетический эффект наблюдался во всех случаях.

В отношении восприятия варианта виртуальной фигуры (конус/воронка) нужно отметить, что испытуемые обеих групп воспринимали виртуальную фигуру либо только как конус, либо как конус, чередующийся с воронкой. В обеих группах испытуемых увеличение эксцентриситета изображения приводит к увеличению количества детей, у которых восприятие виртуального конуса чередуется с восприятием виртуальной воронки по сравнению с количеством детей, воспринимающих виртуальную фигуру только как конус. При этом обращает на себя внимание более выраженное влияние эксцентриситета на количество детей с чередованием вариантов восприятия виртуальных фигур в контрольной группе по сравнению с группой детей с ЧАЗН. В контрольной группе максимальное количество детей с восприятием виртуальной фигуры только в виде конуса составляло 36.4% при эксцентриситете 0.2 и скорости вращения 10–30 об./мин, а при эксцентриситете 0.8 оно составляло 20.5–9.1% при тех же скоростях вращения соответственно. В группе детей с ЧАЗН максимальное количество детей, воспринимающих виртуальную фигуру только как конус, уменьшилось с 50% при эксцентриситете 0.2 и скорости вращения 10–30 об./мин до 44.4–33.3% при эксцентриситете 0.8 и скоростях вращения 2–10 об./мин. Увеличение скорости вращения изображения от 10 до 90 об./мин не оказывало существенного влияния на соотношение количества детей, воспринимающих только конус, и детей с чередованием восприятия виртуальных фигур при каждом эксцентриситете от 0.4 до 0.8.

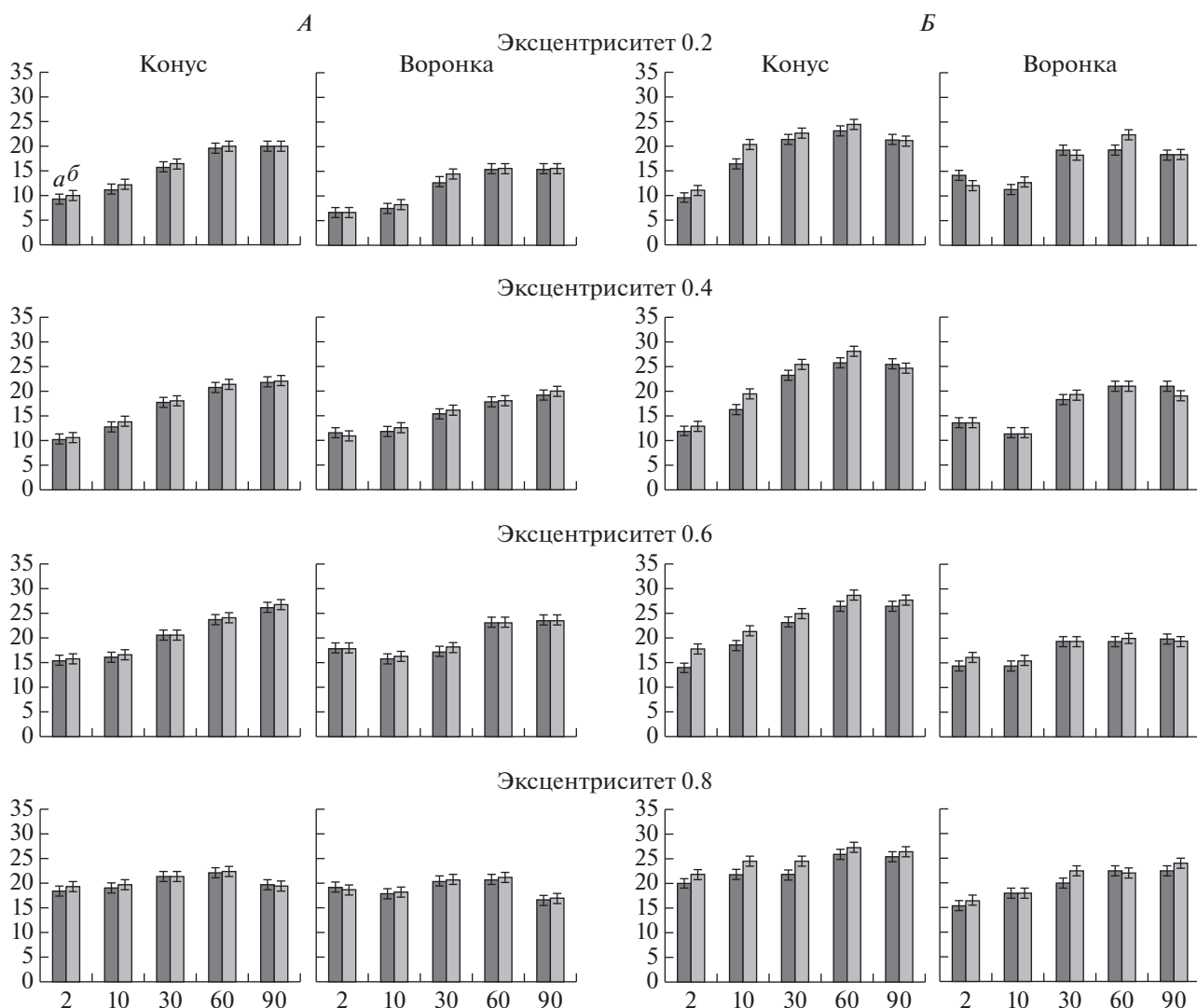
Анализируя влияние эксцентриситета изображения и скорости его вращения на величину виртуального конуса или виртуальной воронки нужно отметить достоверное увеличение как монокулярной так и бинокулярной оценки этого показателя при увеличении скорости вращения с 2 до 60 об./мин при всех использованных нами эксцентриситетах в обеих группах испытуемых ( $t(df\ 78) = 8.1–8.5, p < 0.001$  для виртуального конуса;  $t(df\ 78) = 3.7–3.9, p < 0.001$  для виртуальной воронки) (рис. 3). Менее выраженное влияние скорости вращения наблюдалось в отношении виртуального конуса при эксцентриситете 0.8 у детей с ЧАЗН ( $t(df\ 78) = 2.2, p < 0.05$ ). При даль-



**Рис. 2.** Распределение детей с ЧАЗН и детей контрольной группы в зависимости от особенностей их восприятия стереокинетического эффекта при разном эксцентриситете и скорости вращения тестового изображения. *А* – группа детей с ЧАЗН; *Б* – контрольная группа. *а* – плоская фигура; *б* – виртуальный конус; *в* – чередование виртуального конуса и виртуальной воронки. На всех гистограммах по горизонтальной оси – скорость вращения тестового изображения (об./мин); по вертикальной оси – количество детей в процентах.

нейшем увеличении скорости вращения тестового изображения с 60 до 90 об./мин увеличения оценки виртуальной фигуры не наблюдалось у детей обеих групп, а в некоторых случаях даже отмечалось некоторое ее уменьшение, особенно заметное в группе детей с ЧАЗН при эксцентрисите-

те изображения 0.8 и в контрольной группе при эксцентриситете 0.2. При сравнении бинокулярных и монокулярных оценок величины виртуальных фигур нужно отметить достоверно более высокие монокулярные оценки виртуального конуса ( $p < 0.05$ ) в контрольной группе детей при:



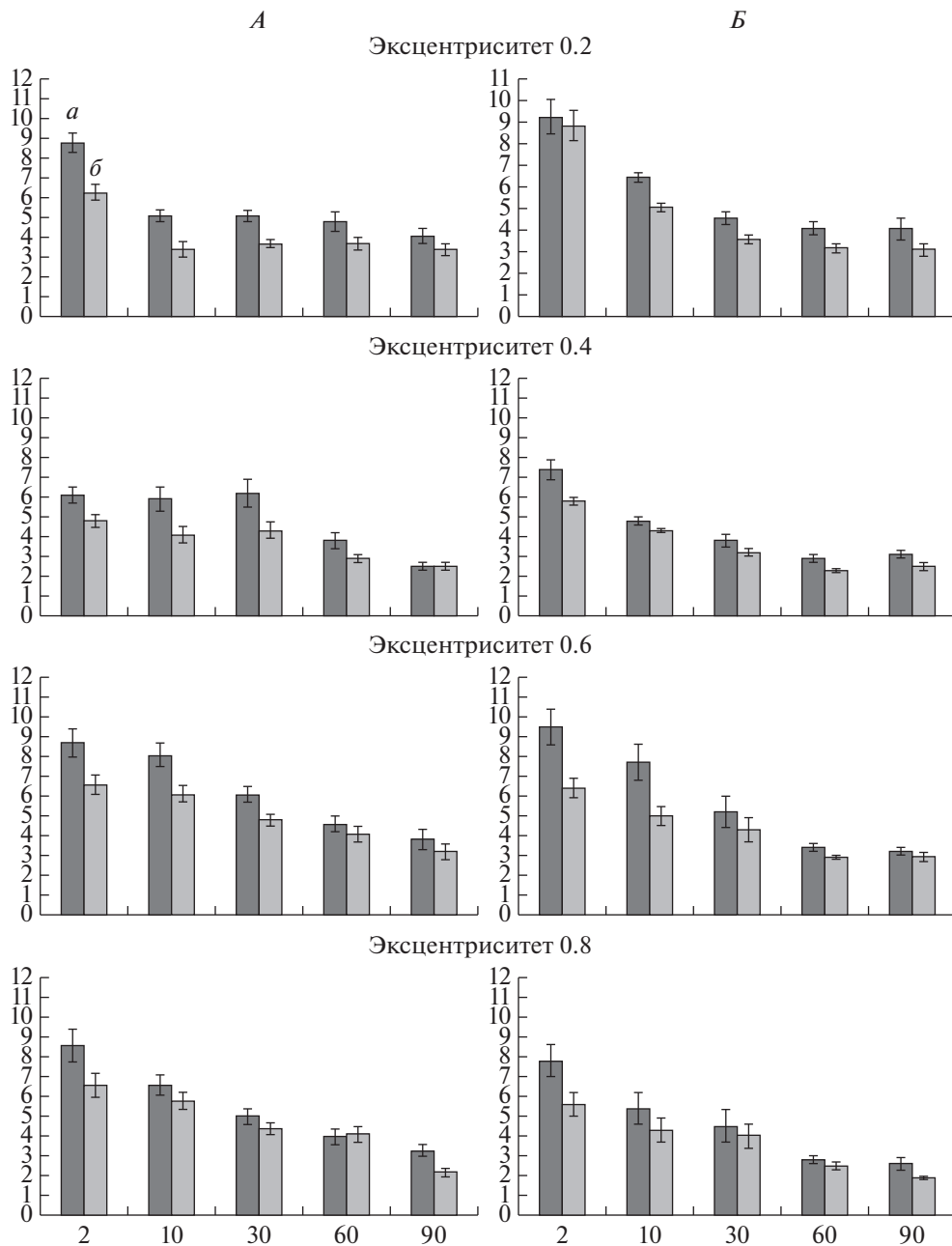
**Рис. 3.** Гистограммы значений бинокулярных и монокулярных оценок величины виртуального конуса и виртуальной воронки у детей с ЧАЗН и у детей контрольной группы при разном эксцентриситете и скорости вращения тестового изображения.

*А* – группа детей с ЧАЗН; *Б* – контрольная группа. *а* – бинокулярные оценки высоты виртуального конуса или глубины виртуальной воронки; *б* – монокулярные оценки высоты виртуального конуса или глубины виртуальной воронки. На всех гистограммах по горизонтальной оси – скорость вращения тестового изображения (об./мин); по вертикальной оси – средние значения величины виртуальной фигуры в сантиметрах.

эксцентриситете 0.4 и скоростях вращения 10 об./мин ( $t(df\ 78) = 3.4, p < 0.002$ ), 30 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.1, p < 0.05$ ) и 60 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.2, p < 0.05$ ); эксцентриситете 0.6 и скоростях вращения 2 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.4, p < 0.05$ ), 10 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.2, p < 0.05$ ), и 60 об./мин ( $t = 2.1, p < 0.05$ ); эксцентриситете 0.8 и скоростях вращения 10 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.1, p < 0.05$ ) и 30 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.2, p < 0.05$ ). Достоверно более высокие монокулярные оценки виртуальной воронки были в контрольной группе детей при эксцентриситете 0.2 при скорости вращения 30 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.3, p < 0.05$ ) и при эксцентриситете 0.8 при скорости вращения 30 об./мин ( $t(df\ 78) = 2.9,$

$p < 0.01$ ). При других сочетаниях эксцентриситета и скорости вращения изображения у детей контрольной группы разница между монокулярной и бинокулярной оценками была недостоверной, однако сохранялась тенденция к более высоким значениям монокулярной оценки по сравнению с бинокулярной. В группе детей с ЧАЗН значения бинокулярной и монокулярной оценок были практически одинаковыми при всех сочетаниях эксцентриситета и скорости вращения изображения.

Анализируя влияние эксцентриситета и скорости вращения изображения на скорость чередования восприятия виртуального конуса и виртуальной воронки (рис. 4) нужно отметить выра-



**Рис. 4.** Гистограммы длительностей поочередного доминирования виртуального конуса и виртуальной воронки у детей с ЧАЗН и у детей контрольной группы при разном эксцентриситете и скорости вращения тестового изображения. *А* – группа детей с ЧАЗН; *Б* – контрольная группа. *а* – виртуальный конус; *б* – виртуальная воронка. На всех гистограммах по горизонтальной оси – скорость вращения тестового изображения (об./мин); по вертикальной оси – средние значения длительности доминирования одной из виртуальных фигур в секундах.

женное сокращение времени доминирования каждой из чередующихся виртуальных фигур при повышении скорости вращения изображения в каждой из групп испытуемых при всех использованных в исследовании эксцентриситетах ( $t(df\ 35) = 5.2-6.8, p < 0.001$  в группе детей с ЧАЗН и  $t(df\ 43) = 5.4-8.2, p < 0.001$  в контрольной группе). При этом обращает на себя внимание общая тенденция к более выраженному доминированию

виртуального конуса над виртуальной воронкой. Результаты данного раздела исследования, полученные в монокулярных и в бинокулярных условиях, совпадали, поэтому на гистограмме представлены только результаты, полученные в бинокулярных условиях наблюдения стимулов.

Сравнивая данные с полученными ранее результатами изучения стереокинетического эф-



фекта у взрослых пациентов с неврологической патологией (в основном доброкачественными опухолями различной локализации), можно сказать, что авторы данных исследований отмечали различное влияние локализации поражений головного мозга на взаимоотношения механизмов пространственного восприятия. Было показано, что наибольшее влияние на взаимоотношения данных механизмов оказывают поражения затылочной области коры. При этом стереокинетический механизм страдает в меньшей степени, чем бинокулярный. В опытах с кольцевыми изображениями наблюдалось также нивелирование монокулярного и бинокулярного эффектов, свидетельствующее о влиянии поражений этой зоны, прежде всего на работу бинокулярного механизма. Неустойчивость зрительных эффектов и неоднозначность результатов, полученные у больных с поражениями лобной области и среднего мозга, свидетельствовали, по мнению авторов, о нарушениях ассоциативного звена зрительного пространственного восприятия [7, 8].

## ВЫВОДЫ

1. Стереокинетический эффект отсутствует у большинства детей с ЧАЗН (63.9%) в условиях предъявления стимула с эксцентриситетом 0.2 при скорости вращения 2 об./мин, в отличие от контрольной группы в которой при таких же условиях предъявления данного стимула стереокинетический эффект отсутствует только у 9.1% процента детей.

2. Стереокинетический эффект появляется при любом из использованных в работе эксцентриситетов (от 0.2 до 0.8) при скорости вращения тестового изображения 30–90 об./мин у детей с ЧАЗН и 10–90 об./мин у детей контрольной группы.

3. Количество детей с поочередным восприятием виртуального конуса и виртуальной воронки существенно больше в контрольной группе, чем в группе детей с ЧАЗН при всех использованных эксцентриситетах и скоростях вращения тестовых изображений.

4. Значения бинокулярных оценок величины виртуальной фигуры соответствуют значениям монокулярных оценок в группе детей с ЧАЗН при всех использованных эксцентриситетах и скоростях вращения тестовых изображений, в отличие от контрольной группы детей, где наблюдается общая тенденция к увеличению оценки высоты виртуального конуса в монокулярных условиях наблюдения.

5. Увеличение скорости вращения тестового изображения от 2 до 60 об./мин сопровождается повышением значений оценки величины виртуальной фигуры (как виртуального конуса, так и виртуальной воронки) при всех использованных

эксцентриситетах в обеих группах испытуемых. При дальнейшем увеличении скорости вращения тестового изображения до 90 об./мин увеличения оценки виртуальной фигуры не наблюдается, а в некоторых случаях даже отмечается ее уменьшение, особенно заметное в группе детей с ЧАЗН при эксцентриситете изображения 0.8 и в контрольной группе при эксцентриситете 0.2.

6. Увеличение скорости вращения тестового изображения приводит к значительному сокращению времени поочередного доминирования восприятия виртуального конуса и виртуальной воронки в обеих группах испытуемых при всех использованных эксцентриситетах.

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (Москва).

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им или его законным представителем (для несовершеннолетних) после разъяснения потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vezzani S., Kramer P., Bressan P.* Stereokinetic effect, kinetic depth effect, and structure from motion / In *The Oxford Handbook of Perceptual Organization*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2014. 26 p.
2. *Musatti C.L.* Sui fenimini stereocinetici // *Arch. Ital. Psychol.* 1924. V. 3. P. 105.
3. *Musatti C.L.* Forma e assimilazioni // *Arch. Ital. Psychol.* 1931. V. 9. P. 61.
4. *Musatti C.L.* La stereocinesi e il problema della struttura dello spazio visibile // *Rivista di Psicologia*. 1955. V. 49. P. 3.
5. *Fischer G.T.* Factors affecting estimation of depth with variations of the stereokinetic effect // *Amer. J. Psychol.* 1956. V. 69. P. 252.
6. *Wieland B.A., Mefferd R.B.* Perception of depth in rotating objects: Asimmetry and velocity as the determinants of the stereokinetic effect // *Percept. and Mot. Skills*. 1968. V. 26. № 3. P. 671.
7. *Могилев Л.Н.* Механизмы пространственного зрения. М.: Наука, 1982. 112 с.
8. *Рычков И.Л.* Пространственное зрение человека и животных. Изд-во Иркут. ун-та, 1990. 216 с.
9. *Mogylev L.N., Rytchkov I.L., Rizolatti G.* Alcune osservazioni sui fenomeni stereocinetici // *Boll. Soc. Italiana Biologia Sperimentale*. 1978. V. 5. № 18. P. 1763.



10. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н. Взаимодействие бинокулярного и стереокинетического механизмов восприятия глубины у детей с нормальным и нарушенным бинокулярным зрением // Сенсорные системы. 2001. Т. 15. № 1. С. 61.
11. Wolfe J.M. Stereopsis and binocular rivalry // Psychological Review. 1986. V. 93. № 3. P. 269.
12. Рожкова Г.И., Плосконос Г.А. Множественность механизмов бинокулярного синтеза и их избирательные нарушения при косоглазии // Сенсорные системы. 1988. Т. 2. № 2. С. 167.
13. Wallach H., O'Connell D. The kinetic depth effect // Journal of Experimental Psychology. 1953. V. 45. № 4. P. 205.
14. Bista S., Leitao da Cunha I.L., Varshney A. Kinetic depth images: flexible generation of depth perception // Vis. Comput. 2017. V. 33. P. 1357.
15. Ullman S. The interpretation of structure from motion // Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Science. 1979. V. 203. P. 405.
16. Brascamp J.W., Klink P.C. The "laws" of binocular rivalry: 50 years of Levelt's propositions // Vision Research. 2015. V. 109. P. 20.
17. Brouwer G., Van Ee R. Endogenous influences on perceptual bistability depend on exogenous stimulus characteristics // Vision Research. 2006. V. 46. P. 3393.
18. Klink P., Van Ee R., Nijs M. et al. Early interactions between neuronal adaptational and voluntary control determine perceptual choices in bistable vision // Journal of Vision. 2008. V. 8. № 5. P. 16.
19. Pastukhov A., Füllekrug J., Braun J. Sensory memory of structure-from-motion is shape-specific // Attention, Perception & Psychophysics. 2013. V. 75. № 6. P. 1215.
20. Jiang X., Jiang Y., Parasuraman R. The Visual Priming of Motion-Defined 3D Objects // PLoS ONE. 2015. V. 10: e0144730.
21. Toppino T.C., Long G.M. Time for a change: What dominance durations reveal about adaptation effects in the perception of a bi-stable reversible figure // Atten Percept Psychophys. 2015. V. 77. № 3. P. 867.
22. Pastukhov A., Zaus C.R., Aleshin S. et al. Perceptual coupling induces co-rotation and speeds up alternations in adjacent bi-stable structure-from-motion objects // J. Vision. 2018. V. 18. № 4. P. 21.
23. Ferris S.H. Motion parallax and absolute distance // J. Exptl. Psychol. 1972. V. 95. № 2. P. 258.
24. Holmin J., Nawro M. Motion parallax thresholds for unambiguous depth perception // Vision Research. 2015. V. 115. P. 40.
25. Shindler A., Bartels A. Motion parallax links visual motion areas and scene regions // NeuroImage. 2016. V. 125. P. 803.
26. Kim H.R., Angelaki D.E., DeAngelis G.C. A functional link between MT neurons and depth perception based on motion parallax // J. Neurosci. 2015. V. 35. № 6. P. 2766.
27. Kim H.R., Angelaki D.E., DeAngelis G.C. Gain modulation as a Mechanism for Coding depth from motion parallax in macaque area MT // J. Neurosci. 2017. V. 37. № 34. P. 8180.
28. Nadler J.W., Barbash D., Kim H.R. et al. Joint representation of depth from motion parallax and binocular disparity cues in macaque area MT // J. Neurosci. 2013. V. 33. P. 14061.
29. Brodsky M.C. Optic atrophy in children // Pediatric Neuro-Ophthalmology. NY: Springer, 2016. P. 199.
30. Мазурина О.В., Егоров В.В., Смолякова Г.П. Новый диагностический подход к раннему выявлению перинатальной атрофии зрительного нерва // Практическая медицина. 2018. Т. 114. № 3. С. 118.
31. Peragallo J.H., Keller S., van der Knaap M.S. et al. Retinopathy and optic atrophy: Expanding the phenotypic spectrum of pathogenic variants in the AARS2 gene // Ophthalmic Genetics. 2018. V. 39. № 1. P. 99.
32. Turan K.E., Sekeroglu H.T., Koc I., Sanac A.S. Bilateral optic disc pathologies as an accompanying feature of comitant strabismus in children // International Ophthalmology. 2018. V. 38. № 2. P. 425.
33. Васильева Н.Н., Рычкова С.И., Рожкова Г.И. Монокулярные и бинокулярные механизмы пространственного восприятия у слабовидящих детей с заболеваниями сетчатки и зрительного нерва // Дефектология. 2010. № 6. С. 39.

## Dependence of the Stereokinetic Effect on the Rotational Speed and Eccentricity of the Test Image in Children with Partial Optic Atrophy

S. I. Rychkova<sup>a,\*</sup>, R. I. Sandimirov<sup>b,c</sup>, L. V. Kosobutskaya<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Institute for Information Transmission Problems, Moscow, Russia

<sup>b</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

<sup>c</sup>School № 1852, Moscow, Russia

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

We studied the influence of rotation speed and eccentricity of the ring image on the severity of the stereokinetic effect in a group of 36 children aged 8 to 16 years with partial optic atrophy and in a control group of 44 children of the same age with normal fundus. Four variants of the ring image with the eccentricity 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 were used as test image. The rotation speed of the ring image was 2, 10, 30, 60 or 90 rpm. It was found that the stereokinetic effect was absent in the majority of children (63.9%) with optic atrophy at a combination of eccentricity 0.2 and a rotation speed of 2 rpm, in contrast to the control group, where the stereokinetic effect was only absent in 9.1% of children under the same conditions of presenting this stimulus. The stereokinetic effect was observed with all eccentricities when the speed of rotation of the test image was 30–

90 rpm in children with optic atrophy and 10–90 rpm in children of the control group. The number of children with alternate perception of the virtual cone and the virtual hole is significantly higher in the control group than in the group of children with optic atrophy with all used eccentricities and speeds of rotation of the test images. The binocular estimates of the size of figure were equal to the monocular estimates in the group of children with optic atrophy for all the eccentricities and speeds of rotation of the images, in contrast to the control group, where there is a general tendency to increase the estimate of the size of a virtual cone in the monocular conditions of observation. An increase in the speed of rotation of the test image from 2 to 60 rpm is accompanied by an increase in the size of a virtual figure and a significant reduction of the time of alternately dominating the perception of the virtual cone and the virtual hole in both groups of subjects with all used eccentricities.

*Keywords:* stereokinetic effect, optic atrophy, spatial perception.