

УДК 612.843.74+617.75

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЛЛЮЗИИ ФОСФЕНОВ У ШКОЛЬНИКОВ С ЧАСТИЧНОЙ АТРОФИЕЙ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА И С НОРМАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ГЛАЗНОГО ДНА

© 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 РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

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

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

Поступила в редакцию 21.09.2018 г.

После доработки 30.01.2019 г.

Принята к публикации 04.04.2019 г.

Работа посвящена изучению проявлений иллюзии фосфенов у школьников с частичной атрофией зрительного нерва (ЧАЗН) и у школьников с нормальным состоянием сетчатки и зрительного нерва. Было обследовано 22 школьника с ЧАЗН и 24 школьника с нормальным состоянием глазного дна (контрольная группа). В исследовании использовали тестовые изображения в виде вариантов “мерцающей решетки” с дисками разного диаметра, предъявляемые на экране монитора. Показано, что у детей с ЧАЗН наблюдается “сдвиг” максимальных значений силы иллюзии в сторону увеличения диаметра дисков в тестовых изображениях. В отличие от детей контрольной группы у школьников с ЧАЗН не выявлена достоверная разница в выраженности иллюзии фосфенов при повороте тестового изображения на 45°. У детей с ЧАЗН феномен иллюзорного исчезновения более выражен, чем у детей с нормальным состоянием глазного дна.

*Ключевые слова:* иллюзия фосфенов, частичная атрофия зрительного нерва, иллюзия исчезновения.

**DOI:** 10.1134/S0131164619050163

Исследование зрительных иллюзий является одним из активно развивающихся направлений в мировой науке, так как позволяет получить более полные представления о механизмах формирования зрительного образа. Кроме того, изучение процессов искаженного зрительного восприятия является важной задачей при разработке современных технологий виртуальной реальности и трехмерных изображений [1–4].

Несмотря на то, что зрительные иллюзии изучаются уже более ста лет, механизмы многих из них к настоящему времени все еще до конца не раскрыты, так как задача изучения зрительных иллюзий осложняется тем, что они могут объясняться множеством факторов, относящихся к разным этапам процесса обработки зрительной информации [1, 2].

Одной из таких иллюзий, не имеющих к настоящему времени исчерпывающего научного объяснения является иллюзия фосфенов. Фосфены — светящиеся точки либо фигуры, ощущаемые человеком без непосредственного действия света на сетчатку глаза. Наиболее известной фигурой, вызывающей иллюзию фосфенов, является Решетка Германна [5]. Она представляет собой совокуп-

ность черных квадратов, разделенных белыми линиями, пересекающимися под прямым углом. В пересечениях линий наблюдатель видит появляющиеся и исчезающие иллюзорные темные пятна по всей площади фигуры, исключая зону центральной фиксации. Данный эффект усиливается при перемещении взгляда по поверхности фигуры. Вариантами решетки Германна являются решетка Бергена (“размытая решетка”) [6] и “мерцающая решетка”. “Мерцающая решетка” похожа на решетку Германа, но на месте пересечения линий находятся белые диски [7].

Возможное объяснение данного зрительного эффекта было предложено G. Baumgartner [8]. Его гипотеза основана на открытиях нейрофизиологов, которые установили, что ганглиозные клетки сетчатки имеют антагонистическую центрально-периферическую организацию [9]. G. Baumgartner предположил, что темные пятна появляются из-за того, что ганглиозные клетки сетчатки с оп-центрами рецептивных полей, активируемые пересечениями белых линий, дают более слабую ответную реакцию, чем те, которые активируются непересекаемыми участками линий. Данное объяснение, однако, в настоящее время не является

исчерпывающим в связи с проведенными в последующие годы исследованиями. Было установлено, что если изменить углы пересечений линий в решетке, то иллюзия значительно уменьшается, несмотря на то, что гипотетическое различие в активности ганглиозных клеток, рецептивные поля которых соответствуют пересечениям линий, и клеток, рецептивные поля которых соответствуют непересекаемым участкам линий, не должно существовать [10, 11]. Также выяснено, что выраженность иллюзии уменьшается, если развернуть стандартный вариант решетки на  $45^\circ$  [12–14]. Было показано также влияние размера, формы и пространственной ориентации деталей фигуры, вызывающей иллюзию фосфенов [15, 16]. В связи с этим в настоящее время существует теория, согласно которой возникновение иллюзии фосфенов объясняется работой нейронов первичной зрительной коры (V1), в частности простых клеток S1, имеющих однодольные рецептивные поля [17]. При этом клетки, рецептивные поля которых соответствуют пересечениям, дают менее выраженную ответную реакцию, чем клетки с рецептивными полями, соответствующими непересекаемым участкам линий, так как центры рецептивных полей последних соответствуют зонам более яркого контраста деталей фигуры. Простые клетки S1 имеют рецептивные поля разного размера, что может объяснять существование фосфенов при изменении размера дисков в фигуре, вызывающей иллюзию “мерцающей решетки”. Потеря иллюзорного эффекта при изменении углов пересечений линий также может объясняться этой теорией, так как простые клетки обладают ориентационной избирательностью. Вследствие этого разница между силами ответных реакций групп клеток с разной ориентационной избирательностью менее выражена для “искривленного” варианта решетки Германна по сравнению со стандартным вариантом фигуры [10, 11, 18–20].

Несмотря на успехи, достигнутые в изучении работы нейронов зрительной коры, объясняющие возникновение иллюзии фосфенов, нельзя недооценивать важность процессов обработки зрительной информации на уровне сетчатки, а также состояние проводящих зрительных путей. Повреждение клеток сетчатки и/или зрительного нерва может нарушить работу всей зрительной системы. Поэтому для анализа участия процессов, происходящих на разных уровнях обработки зрительной информации представляется перспективным исследовать проявления иллюзии фосфенов при такой патологии как частичная атрофия зрительного нерва.

Атрофия зрительного нерва — дегенеративный процесс в зрительном нерве и ганглиозных клетках сетчатки, возникающий в результате патологических изменений жизнедеятельности гангли-

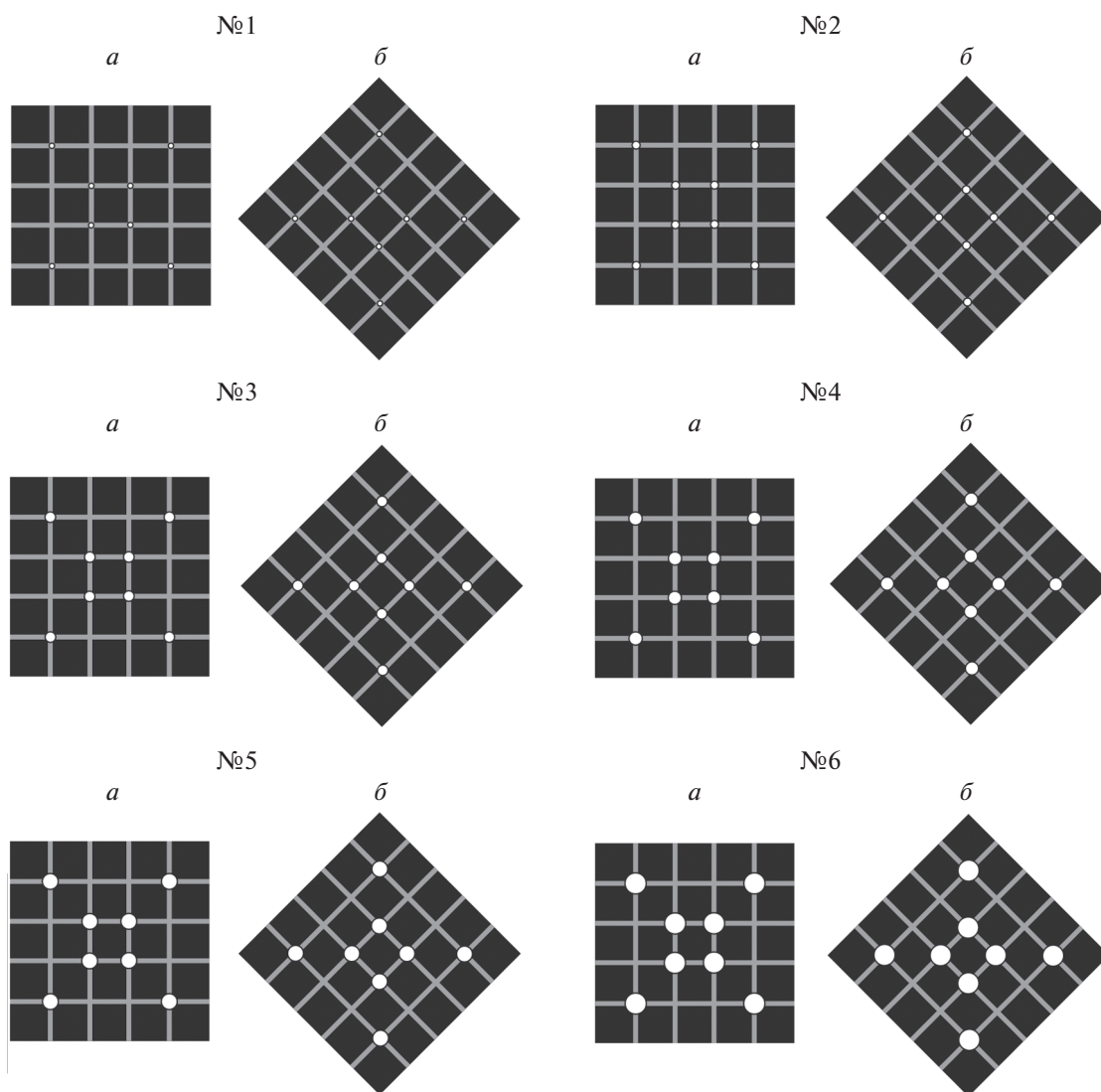
озных клеток и/или их аксонов. Клинически проявляется снижением остроты зрения, дефектами поля зрения и побледнением диска зрительного нерва. Причинами могут быть перенесенные инфекции, травмы, воздействие токсических веществ (в том числе лекарственных препаратов), нарушение кровообращения в сосудах, питающих зрительный нерв, сдавление зрительных волокон объемным образованием и т.д. Врожденная атрофия зрительного нерва может быть следствием вредных факторов, действующих на плод в организме матери или иметь генетические причины (аутосомно-доминантная или аутосомно-рецессивная форма заболевания) [21–24].

Цель работы — изучение проявлений иллюзии фосфенов у школьников с нормальным состоянием глазного дна и при частичной атрофии зрительного нерва.

## МЕТОДИКА

В обследовании участвовали 46 детей школьного возраста, которые были разделены на две группы: первая группа — дети с частичной атрофией зрительного нерва (ЧАЗН) обоих глаз; вторая группа — дети с нормальным состоянием сетчатки и зрительного нерва (контрольная группа). Первая группа включала 22 чел. (15 мальчиков) в возрасте от 8 до 17 лет (в среднем 10.2 лет). Вторая группа включала 24 чел. (13 мальчиков), также в возрасте от 8 до 17 лет (в среднем 10.7 лет). В группе детей с ЧАЗН девять человек имели миопическую рефракцию и 13 чел. — гиперметропическую. Острота зрения у детей данной группы составляла в среднем  $0.28 \pm 0.04$ . В контрольной группе 12 чел. имели миопическую рефракцию и 12 чел. — гиперметропическую. Острота зрения у детей этой группы составляла в среднем  $0.8 \pm 0.04$ .

Исследование проводили на базе школы-интерната для детей с патологией зрения. Тестовые изображения предъявляли на экране компьютера на расстоянии 40 см от глаз испытуемого. Для создания тестовых изображений использовали варианты “мерцающей решетки” (рис. 1). Варианты классических тестовых фигур (рис. 1, №№ 1–6, а) представляли собой черные квадраты размером на экране монитора  $51 \times 51$  мм с серыми пересекающимися под прямым углом полосами шириной 1.5 мм и с белыми дисками с тонким черным ободком (0.2 мм) в местах пересечения серых полос (четыре белых диска в центральной зоне и четыре — на периферии квадрата). Для другого варианта тестовых фигур (рис. 1, №№ 1–6, б) были использованы те же изображения квадратов (с серыми пересекающимися полосами и дисками в местах пересечений серых линий), но повернутые на  $45^\circ$ . Размер черных квадратов и ширина серых линий во всех тестовых изображениях оставались одинаковыми. Диаметр дисков в тестовых фигу-



**Рис. 1.** Тестовые фигуры для исследования выраженности иллюзии фосфенов у школьников с ЧАЗН и с нормальным состоянием глазного дна.

Представлено шесть тестовых фигур для исследования иллюзии фосфенов в классическом варианте (фигуры №№ 1–6, *a*) и повернутых на 45 град. (фигуры №№ 1–6, *б*). Представленные на рисунке фигуры содержат диски разных диаметров. Отношение диаметра (ДД) диска к ширине пересекающихся под прямым углом серых полос (ШП) составляет: ДД/ШП = 1 для фигуры № 1; ДД/ШП = 1.3 для фигуры № 2; ДД/ШП = 1.7 для фигуры № 3; ДД/ШП = 2 для фигуры № 4; ДД/ШП = 2.7 для фигуры № 5; ДД/ШП = 3.3 для фигуры № 6.

рах 1, *a* и 1, *б* составлял 1.5 мм. При этом отношение диаметра (ДД) диска к ширине пересекающихся серых полос (ШП) было  $ДД/ШП = 1$ . В тестовых фигурах 2, *a* и 2, *б* диаметр составлял 2 мм ( $ДД/ШП = 1.3$ ), в фигурах 3, *a* и 3, *б* – 2.5 мм ( $ДД/ШП = 1.7$ ); в фигурах 4, *a* и 4, *б* – 3 мм ( $ДД/ШП = 2$ ); в фигурах 5, *a* и 5, *б* – 4 мм ( $ДД/ШП = 2.7$ ) и в фигурах 6, *a* и 6, *б* – 5 мм ( $ДД/ШП = 3.3$ ).

Задачей испытуемого было рассмотреть предъявляемое изображение и рассказать о своих зрительных впечатлениях. Изображения предъявлялись в случайном порядке. Испытуемые, рассмат-

ривая тестовые фигуры в бинокулярных условиях (при двух открытых глазах), плавно перемещали взгляд по поверхности изображения, возвращаясь взглядом к его центру. Оценивали следующие параметры:

1. Одновременная видимость (заметность) дисков в местах пересечения линий: диски не видны совсем – 0 баллов, видно одновременно меньше четырех дисков – 1 балл, видны четыре (обычно центральные) диска – 2 балла, видно одновременно большинство дисков – 3 балла, видны одновременно все диски – 4 балла.

**Таблица 1.** Видимость дисков в тестовых изображениях у школьников с ЧАЗН и при нормальном состоянии глазного дна

| Диаметр дисков, мм | ДД/ШП | Школьники с ЧАЗН (22 чел)   |  | Школьники с нормальным состоянием глазного дна (24 чел)                         |  |
|--------------------|-------|---|--|---|--|
|                    |       | видимость дисков при классическом положении тестовых фигур, баллы ( $M \pm m$ ) | видимость дисков при повороте тестовых фигур на 45°, баллы ( $M \pm m$ ) | видимость дисков при классическом положении тестовых фигур, баллы ( $M \pm m$ ) | видимость дисков при повороте тестовых фигур на 45°, баллы ( $M \pm m$ ) |
| 1.5                | 1     | 1.3 ± 0.3   | 1.3 ± 0.3  | 2.1 ± 0.2   | 1.9 ± 0.2  |
| 2                  | 1.3   | 2.3 ± 0.2   | 2.4 ± 0.2  | 3.1 ± 0.15  | 2.9 ± 0.2  |
| 2.5                | 1.7   | 3 ± 0.2   | 3 ± 0.2  | 3.9 ± 0.06  | 3.6 ± 0.1  |
| 3                  | 2     | 3.6 ± 0.1   | 3.6 ± 0.1  | 4 ± 0   | 4 ± 0  |
| 4                  | 2.7   | 3.9 ± 0.04  | 3.9 ± 0.04   | 4 ± 0   | 4 ± 0  |
| 5                  | 3.3   | 4 ± 0   | 4 ± 0  | 4 ± 0   | 4 ± 0  |

**Таблица 2.** Выраженность иллюзии фосфенов у школьников с ЧАЗН и при нормальном состоянии глазного дна

| Диаметр дисков, мм | ДД/ШП | Школьники с ЧАЗН (22 чел)   |  | Школьники с нормальным состоянием глазного дна (24 чел)                             |  |
|--------------------|-------|---|--|---|--|
|                    |       | выраженность иллюзии при классическом положении тестовых фигур, баллы ( $M \pm m$ ) | выраженность иллюзии при повороте тестовых фигур на 45°, баллы ( $M \pm m$ ) | выраженность иллюзии при классическом положении тестовых фигур, баллы ( $M \pm m$ ) | выраженность иллюзии при повороте тестовых фигур на 45°, баллы ( $M \pm m$ ) |
| 1.5                | 1     | 0   | 0  | 0   | 0  |
| 2                  | 1.3   | 0.2 ± 0.2   | 0.2 ± 0.15   | 2.7 ± 0.3   | 2.2 ± 0.3  |
| 2.5                | 1.7   | 1 ± 0.25  | 1.3 ± 0.3  | 3.9 ± 0.3   | 2.9 ± 0.3  |
| 3                  | 2     | 1.6 ± 0.4   | 1.9 ± 0.3  | 3.9 ± 0.3   | 2.6 ± 0.3  |
| 4                  | 2.7   | 2.2 ± 0.4   | 2.1 ± 0.4  | 2.5 ± 0.4   | 1.9 ± 0.3  |
| 5                  | 3.3   | 1.6 ± 0.3   | 1.4 ± 0.3  | 0.6 ± 0.2   | 0.2 ± 0.1  |

2. Появление и выраженность ощущения фосфенов в центре дисков: нет фосфенов – 0 баллов, фосфен в 1–2 периферических дисках – 1 балл, фосфен во всех периферических дисках – 2 балла, фосфен во всех периферических и 1–2 центральных дисках – 3 балла, фосфен во всех дисках, но не виден неярко – 4 балла, фосфен яркий во всех дисках – 5 баллов.

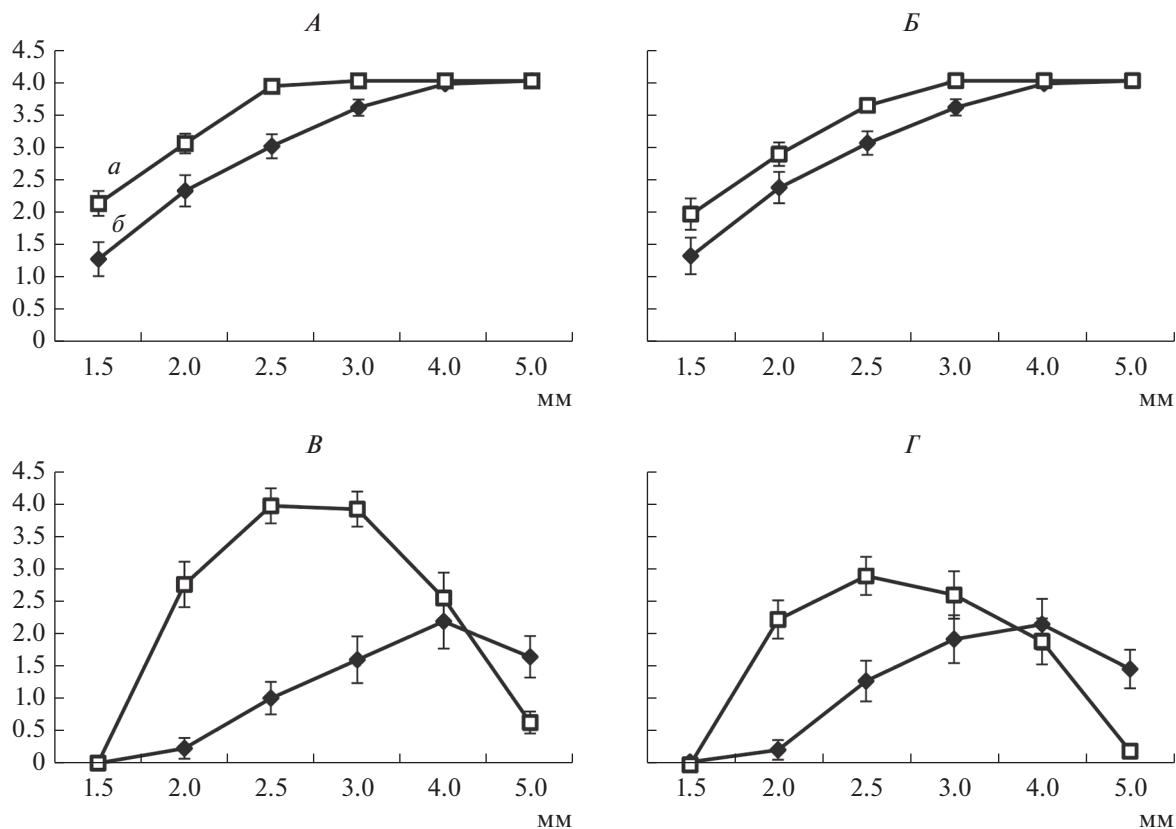
Важно отметить, что при количественной оценке результатов исследования не учитывали субъективные темные пятнышки появляющиеся в перекрестьях серых линий даже там, где не было дисков. Данный зрительный эффект, также относящийся к проявлениям иллюзии фосфенов наблюдался у всех испытуемых контрольной группы и у половины испытуемых с ЧАЗН при рассмотрении тест-объектов, но был выражен гораздо слабее, чем фосфены в центре дисков.

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, статистическая значимость была установлена на уровне 0.05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования представлены в таблицах (табл. 1, 2) и на графиках (рис. 2, А–Г).

Анализируя данные, полученные при предъявлении тестового изображения в стандартном положении в виде квадратов (табл. 1, рис. 2, А),



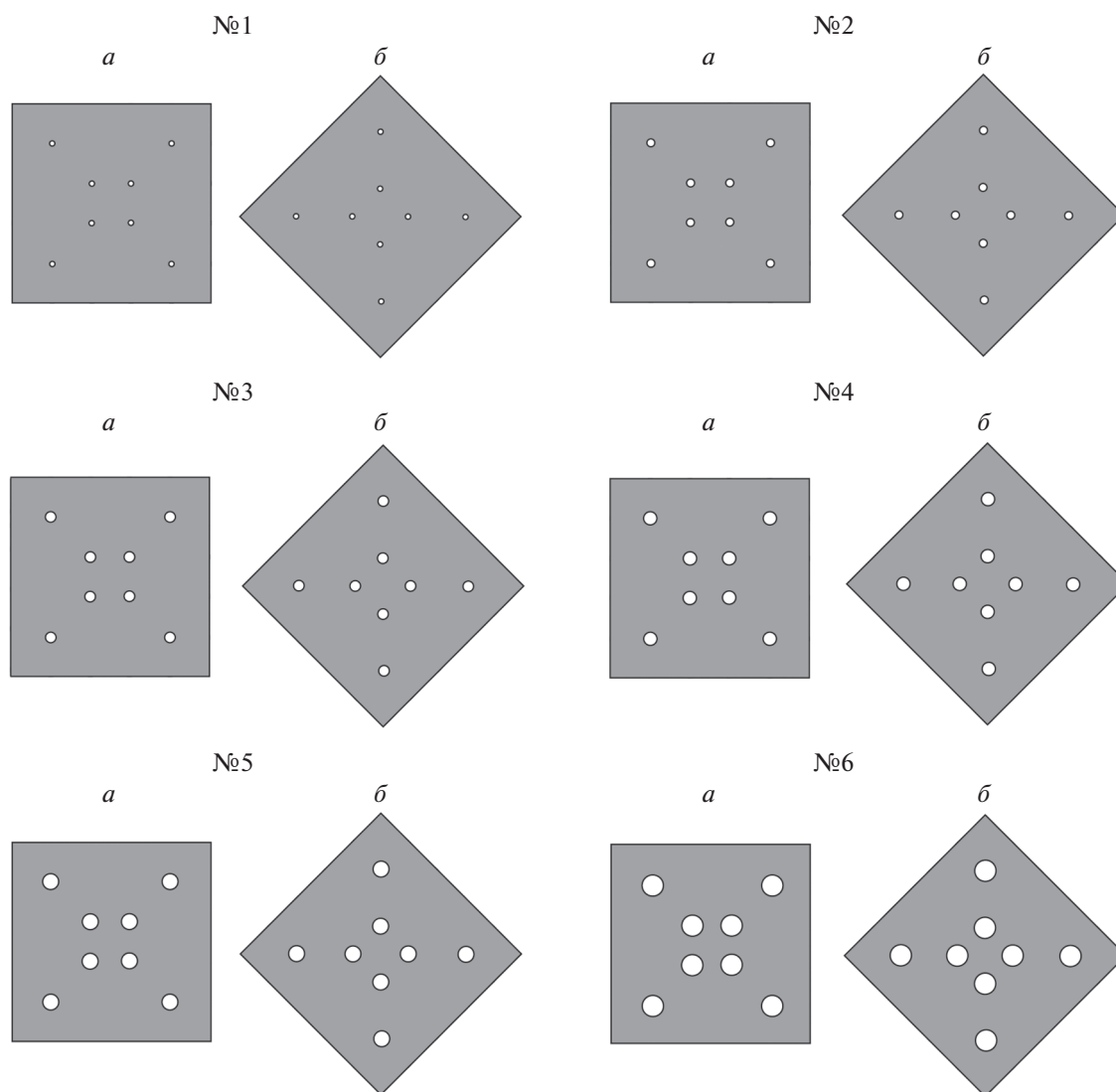
**Рис. 2.** Видимость дисков и выраженность иллюзии фосфенов.

*a* – в группе школьников с нормальным состоянием глазного дна; *б* – в группе школьников с ЧАЗН. *A* – видимость дисков при классическом положении фигур (в виде квадрата); *B* – видимость дисков при повороте фигур на  $45^\circ$  (в виде ромба); *B* – выраженность иллюзии фосфенов при классическом положении фигур (в виде квадрата); *Г* – выраженность иллюзии фосфенов при повороте фигур на  $45^\circ$  (в виде ромба). По вертикали – сила иллюзии фосфенов в баллах. По горизонтали – диаметр дисков в мм.

можно отметить, что в изображениях с дисками диаметром 1.5 мм (ДД/ШП = 1) большинство детей видели одновременно не более четырех (обычно центральных) дисков. При этом переводя взгляд по поверхности изображения все испытуемые (в том числе все испытуемые с ЧАЗН) отчетливо видели каждый фиксируемый в данный момент времени диск. При увеличении диаметра дисков с 1.5 (ДД/ШП = 1) до 3 мм (ДД/ШП = 2) их одновременная видимость достоверно увеличивалась как в группе школьников с ЧАЗН ( $t = 2.9, p < 0.001$ ), так и в контрольной группе ( $t = 3, p < 0.002$ ). При этом в контрольной группе школьников видимость дисков была достоверно выше, чем в группе школьников с ЧАЗН ( $t = 2.6, p < 0.02$ ) для тестовых изображений с дисками диаметром от 1.5 до 3 мм. Для тестовых изображений, содержащих диски диаметром 4–5 мм (ДД/ШП = 2.7–3.3) достоверной разницы не было – все диски в этих изображениях были хорошо одновременно видны как детям с нормальным состоянием глазного дна, так и детям с атрофией зрительного нерва.

При предъявлении тестовых изображений, повернутых на  $45^\circ$  в виде ромбов (табл. 1, рис. 2, *B*), одновременная видимость дисков также достоверно увеличивалась с увеличением диаметра диска с 1.5 (ДД/ШП = 1) до 4 мм (ДД/ШП = 2.7) в обеих группах испытуемых ( $t = 9.2, p < 0.001$  для группы детей с ЧАЗН и  $t = 4.3, p < 0.001$  для контрольной группы). При этом в группе школьников с нормальным состоянием глазного дна видимость дисков была достоверно выше, чем в группе школьников с ЧАЗН для тестовых изображений, содержащих диски диаметром 2.5 ( $t = 2.7, p < 0.02$ ) и 3 мм ( $t = 3.3, p < 0.01$ ) (ДД/ШП = 1.7 и 2), а для изображений с диаметром дисков 1.5–2 (ДД/ШП = 1–1.3) и 4–5 мм (ДД/ШП = 2.7–3.3) достоверной разницы между группами не было. В изображениях с дисками на сером фоне без черных квадратов все восемь дисков сразу (в том числе и диски диаметром 1.5 мм) были видны всем испытуемым в обеих группах.

Для того чтобы проверить могут ли быть в принципе видны одновременно восемь дисков размером 1.5–5 мм на сером фоне, испытуемым



**Рис. 3.** Контрольные варианты тестовых фигур с дисками на однородном сером поле для оценки возможности одновременной видимости дисков разного диаметра у школьников с ЧАЗН и с нормальным состоянием глазного дна.

сделали контрольные изображения с таким же расположением дисков тех же размеров, но только на сером фоне без черных квадратов (рис. 3). В каждом таком изображении все восемь дисков сразу (в том числе это касалось и дисков наименьшего диаметра 1.5 мм) были видны без иллюзии фосфенов всем испытуемым в обеих группах.

Сравнивая одновременную видимость дисков в стандартном тестовом изображении (квадрате) и в повернутом на  $45^\circ$  (ромбе) в каждой группе испытуемых можно отметить, что у детей контрольной группы видимость дисков в квадратах была достоверно выше ( $t = 2.4, p < 0.02$ ), чем в ромбах при размере дисков 2.5 мм (ДД/ШП = 1.7–2). При других размерах дисков достоверной разницы их видимости в квадрате и ромбе не было. В группе школьников с ЧАЗН при всех раз-

мерах дисков разница их видимости в квадратах и ромбах была недостоверной.

Можно полагать, что низкая одновременная видимость дисков небольшого диаметра в тестовых изображениях являлась проявлением иллюзорного зрительного исчезновения, связанного с работой механизмов латерального торможения в центральных отделах зрительного анализатора. Это явление было названо *J. Ninio* и *K.A. Stevens* “иллюзией исчезновения” (“*Extinction illusion*”) в исследовании, демонстрирующем уменьшение силы иллюзии фосфенов и иллюзорное исчезновение части периферических (нефиксируемых взглядом) дисков при повороте стандартного варианта тестового изображения на  $45^\circ$  [12, 25]. В дальнейшем подобный эффект иллюзорного исчезновения дисков в “мерцающей решетке”

при определенном их положении относительно точки фиксации взгляда был описан также *J.J. McAnany* и *M.W. Levine* как феномен гашения “*blinking phenomenon*” [26]. Таким образом, можно сказать, что в наших исследованиях наиболее выраженные проявления иллюзорного исчезновения наблюдались для тестовых изображений с диаметром дисков 1.5–3 мм (ДД/ШП = 1–1.3), причем у детей с ЧАЗН этот эффект был больше выражен, чем у детей с нормальным состоянием глазного дна.

Анализируя силу проявления иллюзии фосфенов при предъявлении тестового изображения в стандартном положении в виде квадрата (табл. 2, рис. 2, В) можно отметить, что при размере дисков 1.5 мм (ДД/ШП = 1) иллюзия фосфенов в дисках не возникала ни у кого из испытуемых. Интересно при этом, что все испытуемые контрольной группы и 10 чел. с ЧАЗН отмечали слабые фосфены в виде появляющихся темных пятнышек в перекрестьях серых линий там, где не было дисков. В дальнейшем, при предъявлении изображений с дисками большего диаметра фосфены в перекрестьях без дисков у этих испытуемых так же появлялись, но воспринимались значительно слабее, чем фосфены в дисках. При предъявлении тестовых изображений с диаметрами дисков 2–3 мм (ДД/ШП = 1.3–2) выраженность иллюзии у школьников с нормальным состоянием глазного дна была значительно больше, чем у школьников с ЧАЗН ( $t = 6.5, p < 0.001$  для дисков диаметром 2 мм;  $t = 8.1, p < 0.001$  для дисков диаметром 2.5 мм;  $t = 5.1, p < 0.001$  для дисков диаметром 3 мм). При размере дисков 4 мм (ДД/ШП = 2.7) выраженность иллюзии фосфенов у школьников с ЧАЗН соответствовала выраженности иллюзии у школьников контрольной группы, а при размере дисков 5 мм (ДД/ШП = 3.3) выраженность иллюзии в контрольной группе была достоверно ниже, чем в группе школьников с ЧАЗН ( $t = 2.8, p < 0.01$ ).

При предъявлении тестового изображения, повернутого на  $45^\circ$  в виде ромба (табл. 2, рис. 2, Г), диаметр дисков (1.5 мм) также являлся препятствием для возникновения иллюзии фосфенов у всех испытуемых. Для тестовых изображений с размерами дисков 2 и 2.5 мм (ДД/ШП = 1.3 и 1.7) также наблюдалась более сильная выраженность иллюзии в группе школьников с нормальным состоянием глазного дна, чем у школьников с ЧАЗН ( $t = 6.1, p < 0.001$  для дисков диаметром 2 мм и  $t = 3.9, p < 0.001$  для дисков диаметром 2.5 мм). При размере дисков 3–4 мм (ДД/ШП = 2–2.7) достоверной разницы в выраженности иллюзии между контрольной группой и группой с ЧАЗН не было. А при размере дисков 5 мм (ДД/ШП = 3.3) выраженность иллюзии в контрольной группе была достоверно ниже, чем в группе школьников с ЧАЗН ( $t = 4, p < 0.001$ ).

Важно отметить, что иллюзия фосфенов была более сильной у школьников контрольной группы для квадратов (рис. 2, В), чем для ромбов (рис. 2, Г) при размере дисков 3 ( $t = 2.75, p < 0.02$ ), 4 ( $t = 2.9, p < 0.01$ ) и 5 мм ( $t = 2.2, p < 0.05$ ). В группе школьников с ЧАЗН разница в силе иллюзии для квадратов и ромбов была недостоверной.

Полученные нами данные для школьников с нормальным состоянием сетчатки и зрительного нерва согласуются с результатами проведенных ранее исследований на взрослых испытуемых без патологии глазного дна [11, 12, 15, 19], показывающих увеличение выраженности эффекта иллюзорного исчезновения и уменьшение силы иллюзии фосфенов при повороте стандартной фигуры мерцающей решетки на  $45^\circ$ . Так же как и в предыдущих исследованиях на взрослых испытуемых, наши результаты, полученные в контрольной группе школьников, демонстрируют, что иллюзия фосфенов наиболее выражена, когда диаметр дисков больше ширины линий примерно в 1.5–2 раза.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что дегенеративные изменения в ганглиозных клетках сетчатки и их аксонах оказывают существенное влияние на иллюзию фосфенов и феномен иллюзорного исчезновения (*extinction illusion*) у детей с частичной атрофией зрительного нерва. У детей с ЧАЗН феномен иллюзорного исчезновения более выражен, чем у детей с нормальным состоянием глазного дна для тестовых изображений с диаметром дисков 1.5–3 мм (ДД/ШП = 1–2). В отношении иллюзии фосфенов у детей с ЧАЗН наблюдается “сдвиг” максимальных значений силы иллюзии в сторону увеличения диаметра дисков в тестовых изображениях: у детей контрольной группы максимальные значения силы иллюзии отмечаются при предъявлении изображений с диаметром дисков 2.5–3 мм (ДД/ШП = 1.7–2), а для детей с ЧАЗН – с диаметром дисков 3–5 мм (ДД/ШП = 2–3.3). При этом максимальные показатели силы иллюзии фосфенов у детей с ЧАЗН ниже, чем у детей контрольной группы. В отличие от детей контрольной группы у школьников с ЧАЗН не была выявлена достоверная разница в выраженности иллюзии фосфенов при наблюдении стандартного и повернутого на  $45^\circ$  тестовых изображений.

## ВЫВОДЫ

1. Феномен иллюзорного исчезновения (*extinction illusion*) более выражен у детей с ЧАЗН, чем у детей с нормальным состоянием глазного дна для тестовых изображений с диаметром дисков 1.5–3 мм (ДД/ШП = 1–1.3). Диски диаметром 4–5 мм (ДД/ШП = 2.7–3.3) в тестовых изображе-



ниях хорошо видны как детям контрольной группы, так и детям с ЧАЗН.

2. При повороте тестовых изображений на 45° усиление феномена исчезновения наблюдается у детей контрольной группы при диаметре дисков 2.5 мм (ДД/ШП = 1.7). В группе школьников с ЧАЗН при повороте тестовых изображений на 45° достоверных изменений феномена исчезновения не происходит.

3. Выраженность иллюзии фосфенов зависит как от состояния глазного дна, так и от диаметра дисков в тестовых изображениях. При величине дисков 1.5 мм (ДД/ШП = 1) иллюзия фосфенов не возникает как у детей с ЧАЗН, так и у детей без патологии глазного дна. Для тестовых изображений с диаметром дисков от 2 до 3 мм (ДД/ШП = 1.3–1.7) выраженность иллюзии у детей с ЧАЗН значительно ниже, чем у детей контрольной группы. При диаметре дисков 4 мм выраженность иллюзии у детей обеих групп не имеет достоверной разницы, а при диаметре дисков 5 мм (ДД/ШП = 3.3) выраженность иллюзии в группе школьников с ЧАЗН достоверно выше, чем в контрольной группе.

4. Иллюзия фосфенов у школьников контрольной группы достоверно более выражена для стандартного положения тестового изображения, чем для повернутого на 45° при размере дисков 2.5–3 мм (ДД/ШП = 1.7–2). В группе школьников с ЧАЗН достоверной разницы силы иллюзии при повороте тестового изображения на 45° не наблюдается.

**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. Рожкова Г.И., Токарева В.С., Огнивов В.В., Бастаков В.А. Геометрические зрительные иллюзии и механизмы константности восприятия размера у детей // Сенсорные системы. 2005. Т. 19. № 1. С. 26.
2. Menshikova G. An investigation of 3D images of the simultaneous-lightness-contrast illusion using a virtual reality technique // Psychology in Russia: State of the Art. 2013. V. 6. № 3. P. 49.
3. Рабичев И.Э., Котов А.В. Зрительные иллюзии и виртуальные зрительные образы: сравнительные аспекты // Теор. и эксперимент. психология. 2013. Т. 6. № 2. С. 94.
4. Гришин С.Н., Ионенко С.И., Даутова Р.В., Морозов О.Г. Зрительные иллюзии. Казанский федеральный университет, 2015. 160 с.
5. Hermann L. Eine Erscheinung simultanen Kontrastes // Pflüger Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. 1970. V. 3. № 1. P. 13.
6. Bergen J.R. Hermann's grid: new and improved // Invest. Ophthalmol. & Visual Science. 1985. V. 26. Issue suppl. P. 280.
7. Schrauf M., Lingelbach B., Wist E.R. The scintillation grid illusion // Vision Research. 1997. V. 37. № 8. P. 1033.
8. Baumgartner G. Indirekt Größenbestimmung der rezeptiven Felder der Retina beim menschen mittels der Hermannschen gittertäuschung // Pflüger Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. 1960. V. 272. P. 21.
9. Hubel D.H., Wiesel T.N. Brain and visual perception: The story of a 25-year collaboration. N.Y.: Oxford University press, 2005. 729 p.
10. Levine M.W., McAnany J.J. The effects of curvature on the grid illusions // Perception. 2008. V. 37. № 2. P. 171.
11. Schiller P.H., Tehovnik E.J. Vision and the visual system. Oxford University Press, 2015. 390 p.
12. Ninio J., Stevens K.A. Variations on the Hermann grid: an extinction illusion // Perception. 2000. V. 29. P. 1209.
13. Lafuente V., Ruiz O. The orientation dependence of the Hermann grid illusion // Experimental Brain Research. 2004. V. 154. № 2. P. 255.
14. Bertamini M., Herzog M.H., Bruno N. The honeycomb illusion: Uniform textures not perceived as such // i-Perception. 2016. V. 3. P. 1.
15. Schrauf M., Spillmann L. The scintillating grid illusion in stereo-depth // Vision Research. 2000. V. 40. № 7. P. 717.
16. Qian K., Yamada Y., Kawabe T., Kayo M. The scintillating grid illusion: Influence of size, shape and orientation of the luminance patches // Perception. 2009. V. 29. P. 1172.
17. Zhuang J., Stoelzel C.R., Bereshpolova Y. et al. Layer 4 in primary visual cortex of the awake rabbit: contrasting properties of simple cells and putative feedforward inhibitory interneurons // J. Neurosci. 2013. V. 33. № 28. P. 11372.
18. Yu Y., Choe Y. A neural model of the scintillating grid illusion: Disinhibition and self-inhibition in early vision // Neural computation. 2006. V. 18. № 3. P. 521.
19. Read J.-C.A., Robson J.H., Smith C.L., Lucas A.D. The scintillating grid illusion is enhanced by binocular viewing // i-Perception. 2012. V. 3. P. 820.
20. Qian K., Kawabe T., Yamada Y., Kayo M. The role of orientation processing in the scintillating grid illusion // Attention, Perception & Psychophysics. 2012. V. 74. № 5. P. 1020.



21. *Brodsky M.C.* Optic atrophy in children / *Pediatric Neuro-Ophthalmology*. N.Y.: Springer, 2016. P. 199.
22. *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.
23. *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 genet*. 2018. V. 39. № 1. P. 99.
24. *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.
25. *Araragi Y., Kitaoka A.* Increment of the extinction illusion by long stimulation // *Perception*. 2011. V. 40. P. 608.
26. *McAnany J.J., Levine M.W.* The blanking phenomenon: a novel form of visual disappearance // *Vision Research*. 2004. V. 44. № 10. P. 993.

## The Study of Phosphene Illusion in Students with Partial Atrophy of the Optic Nerve and Normal Fundus

**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, RAS, Moscow, Russia*

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

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

\*E-mail: [ana.rych@mail.ru](mailto:ana.rych@mail.ru)

We studied phosphene illusions in children with partial atrophy of the optic nerve (PAON) and children with normal retina and optic nerve. We observed 22 students with PAON and 24 students with normal fundus (control group). We used test images in the variants of “scintillating grid” with disks of different diameters displayed on the computer screen. In children with PAON, we observed a shift in the maximum values of the illusion force in the direction of increasing diameters of the discs in the test images. In contrast to the control group, there was no significant difference in the severity of the illusion in students with PAON when the test image was rotated by 45°. The extinction illusion in children with PAON is more pronounced than in children with normal fundus.

*Keywords:* phosphenes, partial atrophy of the optic nerve, extinction illusion.