УДК 612.843.74+617.75

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИЛЛЮЗИИ ПОГГЕНДОРФФА У ШКОЛЬНИКОВ В УСЛОВИЯХ ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

© 2020 г. С. И. Рычкова^{1, *}, Р. И. Сандимиров^{2, 3}, Л. В. Кособуцкая³

 ¹ФГБУН Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия
 ²ГБОУ Школа № 1852, Москва, Россия
 ³ФГБОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия
 *E-mail: lana.rych@mail.ru Поступила в редакцию 10.09.2018 г. после доработки 04.02.2019 г.

В работе проведена количественная оценка выраженности иллюзии Поггендорффа у школьников в условиях предъявления трехмерного изображения, создаваемого при помощи анаглифного разделения полей зрения. В исследовании принимали участие 34 испытуемых школьного возраста с нормальным бинокулярным зрением. Использовали трехмерные варианты классического изображения, вызывающего иллюзию Поггендорффа: тестовый и референтный отрезки расположены под углом 45 градусов к параллельным вертикальным линиям. Установлено, что выраженность иллюзии Поггендорффа зависит от трехмерной пространственной ориентации деталей используемых в исследовании вариантов тест-объекта: наибольшая выраженность иллюзии наблюдается при наклоне параллельных линий в сагиттальной плоскости, а наименьшая — при фронтопараллельном разделении параллельных вертикальных линий и косых отрезков.

Ключевые слова: иллюзия Поггендорффа, количественная оценка, трехмерное изображение, анаглифное разделение полей зрения.

DOI: 10.31857/S0131164620020162

Исследование зрительных иллюзий и, в частности, иллюзии Поггендорффа, позволяет получить более полные представления о механизмах формирования зрительного образа, имеет большое значение в архитектуре и изобразительном искусстве и является важной задачей при разработке современных технологий виртуальной реальности [1–4].

Классическая фигура, вызывающая иллюзию Поггендорффа, состоит из двух длинных параллельных линий и двух отрезков еще одной линии, пересекающей эти две параллельные линии под углом (рис. 1, E; вариант № 1). При рассматривании данной фигуры создается впечатление, что отрезки лежат не на одной, а на двух смещенных относительно друг друга линиях [5–9].

В настоящее время существует много теорий об иллюзорном эффекте, вызываемым фигурой Поггендорффа. Многие исследователи основываются на законах перспективы окружающего мира, метрических и ориентационных эффектах, влиянии простанственного окружения, принципе преувеличения острых углов [7, 10-13], рассматривают ретинальные и кортикальные процессы, участвующие в обработке информации об относительном положении, ориентации и коллинеарности пространственно разделенных линий и объектов [14-17]. Существует также предположение, что основа иллюзии Поггендорффа (так же, как и иллюзий Мюллера-Лайера и Цолльнера) в недооценке расстояния между параллельными прямыми [18, 19]. Рассматривается возможность применения к иллюзии Поггендорффа закона Эммерта, заключающегося в субъективном сжатии окклюдированного пространства между вертикальными параллельными линиями, что обусловлено работой центральных механизмов анализа зрительной информации, стремящихся заполнить "пробелы" кортикальной репрезентации изображения [20].

В экспериментах с раздельным предъявлением правому и левому глазу "искажающих" и "искажаемых" частей фигур, вызывающих геометрические иллюзии, исследователи использовали ана-



РЫЧКОВА и др.

Рис. 1. Тестовые фигуры для количественной оценки глазомера (*A*) и диапазона существования иллюзии Поггендорффа. *Б* – плоские тестовые изображения фигуры Поггендорффа, *B* – 3*D* тестовые изображения фигуры Поггендорффа, создающих эффект фронтопараллельного разделения вертикальных параллельных линий и косых отрезков, *Г* – 3*D* тестовые изображения фигуры Поггендорффа, создающих эффект наклона параллельных линий и косых отрезков, *Г* – 3*D* тестовые изображения фигуры Поггендорффа, создающих эффект наклона параллельных линий и косых отрезков, *Г* – 3*D* тестовые изображения фигуры Поггендорффа, создающие эффект наклона параллельных линий в сагиттальной плоскости. Представлено 12 вариантов положения TO относительно PO (как для глазомера, так и для иллюзии). На исходном тестовом изображении (вариант № 1) TO и PO соответствуют одной прямой линии. В тестовых изображениях с № 2 по № 4 смещение тестового отрезка вниз составляет соответственно (−)2, (−)4 и (−)6 мм по отношению к исходному "нулевому" положению. В тестовых изображениях с № 5 по № 12 – смещение тестового отрезка вверх составляет соответственно (2, (-)4 и (-)6 мм по отношению к исходному "нулевому" положению. В тестовых изображениях с № 5 по № 12 – смещение тестового отрезка вверх составляет соответственно 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 мм. РО – референтный отрезок, ТО – тестовый отрезок. Обозначения цветов: *а* – фиолетовый цвет (сплошная черная линия), *б* – красный цвет (черная пунктирная линия), *в* – синий цвет (серая сплошная линия).

глифное (создаваемое при помощи светофильтров – красного для одного глаза и синего или зеленого – для другого глаза) разделение полей зрения [21] или механическое разделение полей зрения в условиях стереоскопа [22, 23]. Результаты таких экспериментов показали, что иллюзия продолжала существовать, несмотря на некоторое ее ослабление из-за трудности бинокулярного совмещения предъявляемых частей изображения отдельно правому и левому глазу. Полученные результаты позволили авторам сделать вывод об участии центральных механизмов обработки зрительной информации в возникновении геометрических иллюзий. Однако исследователи использовали только двухмерные изображения в условиях разделения полей зрения.

В исследованиях зрительных иллюзий в условиях виртуальной реальности, проведенных Г.Я. Меньшиковой с коллегами [1], было показано, что добавление в зрительную сцену такого важного признака как диспаратность, приводило к изменению выраженности иллюзорного эффекта по сравнению с плоскими изображениями в иллюзиях одновременного контраста и иллюзии Вазарелли, однако никак не сказывалось на выраженности иллюзии Мюллера-Лайера.

В связи с разнообразием взглядов и подходов к изучению данного вопроса необходимо объективно сравнить полученные результаты. В предыдущей работе, посвященной исследованию иллюзии Поггендорффа у школьников с нормальным бинокулярным зрением и при косоглазии [24], было установлено, что количественная оценка диапазона существования иллюзии Поггендорффа лает возможность лостаточно полно и объективно исследовать проявления данной иллюзии. При помощи количественной оценки выраженности иллюзии было показано влияние возраста и состояния бинокулярных функций испытуемых на восприятие иллюзии Поггендорффа, а также влияние пространственной ориентации деталей тест-объекта на выраженность иллюзии. Однако исследования проводились только с использованием двухмерных изображений, вызывающих данную иллюзию.

Цель данной работы — оценить диапазон существования иллюзии Поггендорффа у школьников в условиях предъявления трехмерного изображения, создаваемого при помощи анаглифного разделения полей зрения.

МЕТОДИКА

Офтальмологическое обследование всех испытуемых включало, наряду со стандартными методами обследования, определение характера зрения по четырехточечному цветотесту с расстояния 1 и 5 м от глаз, а также исследование стереозрения по тесту Ланга.

Всего обследовали 34 школьника в возрасте от 8 до 16 лет (в среднем 11.2 лет). Все испытуемые имели достаточно хорошую (не менее 0.8) остроту зрения (без коррекции или в очках), бинокулярный характер зрения по цветотесту и стереозрение по тесту Ланга.

Тест-объекты, содержащие фигуру Поггендорффа, и простые линии для исследования глазомера предъявляли в центральной области экрана монитора на черном фоне (рис. 1, A-I). Положение параллельных линий в "классической" фигуре Поггендорффа (рис. 1, Б; вариант № 1) соответствовало 90°, тестовый отрезок (TO) и референтный отрезок (PO) расположены под углом 45° к параллельным линиям. Размер каждого тестового изображения составлял на экране 6×8 см. толщина линий – 2 мм. Было создано 12 вариантов положения ТО относительно РО (как для глазомера, так и для иллюзии). На исходном тестовом изображении (вариант № 1) ТО и РО соответствовали одной прямой линии (сдвиг тестового отрезка равен 0). В тестовых изображениях с № 2 по № 4 смещение тестового отрезка вниз составляло соответственно (-)2, (-)4 и (-)6 мм по отношению к исходному "нулевому" положению. В тестовых изображениях с № 5 по № 12 – смещение тестового отрезка вверх составляло соответственно 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 мм.

Также разработали изображения фигуры Поггендорффа, воспринимаемые в условиях анаглифного разделения полей зрения как трехмерные: 1) изображения, создающие эффект фронтопараллельного разделения вертикальных линий и косых отрезков (рис. 1, *B*); 2) изображения, создающие эффект наклона вертикальных линий в сагиттальной плоскости (рис. 1, *Г*).



Рис. 2. Схематичное изображение диапазона между ТО_{min} и ТО_{max}, в пределах которого ТО воспринимается испытуемым как находящийся на одной диагональной линии с РО.

Все предъявляемые изображения испытуемые рассматривали в очках с красно-синими светофильтрами (при необходимости коррекции аметропии очки со светофильтрами испытуемый надевал поверх своих привычных очков). Предъявляемые изображения содержали фиолетовые детали (видимые на черном фоне через оба светофильтра и правым и левым глазом), красные детали (видимые только через красный светофильтр) и синие — видимые только через синий светофильтр). При этом положение светофильтров (красный фильтр перед правым глазом, синий – перед левым или наоборот) определяло пространственное положение деталей в трехмерных изображениях. Если красный фильтр ставили перед правым глазом, а синий – перед левым, то вертикальные линии на изображениях, создающих эффект фронтопараллельного разделения деталей, воспринимались расположенными впереди косых отрезков, а на изображениях с эффектом наклона вертикальные линии воспринимались наклоненными верхними концами вперед. При перемене фильтров (красный – перед левым глазом, синий — перед правым) вертикальные линии на изображениях, создающих эффект фронтопараллельного разделения деталей, воспринимались расположенными позади косых отрезков, а на изображениях с эффектом наклона вертикальные линии воспринимались наклоненными верхними концами назад.

Тестовые изображения и положение светофильтров меняли в случайном порядке. Расстояние от монитора до глаз испытуемого составляло 50 см, положение головы фиксировали при помощи подбородной подставки. В каждой фигуре ТО был слева, а РО — справа. Задача испытуемого – оценить положение ТО относительно РО.

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

В процессе обследования было обнаружено, что у всех испытуемых выявлялся некоторый диапазон смещений ТО, в пределах которого ТО воспринимался испытуемым как находящийся на одной прямой линии с РО (диапазон между ТО_{тіп} и ТО_{тах}) как для плоских, так и для трехмерных фигур Поггендорффа (рис. 2).

Важно отметить, что используемые условия предъявления стимулов не вызывали дискомфорта у испытуемых. Двоение отсутствовало у испытуемых во всех случаях, как при рассматривании плоских, так и трехмерных изображений. Рассматривая трехмерные изображения, все испытуемые сообщали о хорошем стереоэффекте, правильно описывая пространственное положение одних деталей относительно других.

Следует обратить на это внимание, так как в предыдущих работах с разделением полей зрения в условиях стереоскопа авторы указывают на значительные трудности у испытуемых при попытке воспринимать предъявляемые правому и левому глазу части изображения как единое целое. Многие испытуемые в таких экспериментах сообщали, что детали то разъезжаются, то накладываются друг на друга, вызывая зрительный дискомфорт [22, 23]. Очевидно, это связано с тем, что правому и левому глазу предъявлялись слишком разные по форме и ориентации изображения, не имеющие одинаковые или хотя бы сходные детали, обеспечивающие успешную фузию. В наших же экспериментах изображения, не создающие трехмерного эффекта (рис. 1, А, Б), воспринимались по форме и ориентации одинаково правым и левым глазом. В изображениях, создающих трехмерный эффект, косые отрезки также воспринимались по форме и положению одинаково правым и левым глазом и успешно фузировались, а пространственное положение центральных элементов определялось соответствующей диспаратностью.

Результаты нашей работы представлены на рис. 3. Диапазон ошибок для глазомера во всех подгруппах испытуемых составлял не больше чем от TO_{min} (-)1.8 ± 0.2 мм до TO_{max} 1.65 ± 0.3 мм.



Рис. 3. Диапазоны ошибок оценки положений ТО относительно РО в фигурах для глазомера, плоских изображениях фигуры Поггендорффа и ее трехмерных вариантах.

По вертикали – средний диапазон для максимальных и минимальных значений TO = PO для иллюзии и глазомера. По горизонтали: Г – значения для глазомера, И1 – значения для плоских изображений фигуры Поггендорффа, И2 – значения для трехмерных изображений фигуры Поггендорффа, создающих эффект фронтопараллельного разделения деталей с положением вертикальных параллельных линий впереди косых отрезков, И3 – с положением вертикальных параллельных линий впереди косых отрезков, И3 – с положением вертикальных параллельных линий впереди косых отрезков, И3 – с положением вертикальных параллельных линий в сагиттальной плоскости верхними концами назад, И5 – создающих эффект наклона верхними концами вперед.

Для значений, отражающих силу иллюзии, был характерен систематический сдвиг ТО_{тіп} и ${
m TO}_{
m max}$ на гораздо более высокий уровень (p << 0.001) по сравнению с результатами по глазомеру как при предъявлении плоских. так и трехмерных изображений. Для контрольной (2D) фигуры Поггендорффа диапазон ошибок составлял от ${
m TO}_{
m min}$ 1.8 \pm 0.3 мм до ${
m TO}_{
m max}$ 9.9 \pm 0.5 мм. Для трехмерной фигуры Поггендорффа с эффектом фронтопараллельного разделения вертикальных параллельных линий и косых отрезков диапазон ошибок составлял от $\text{TO}_{\min} 0.2 \pm 0.4$ мм до TO_{\max} 7.4 ± 0.6 мм при восприятии вертикальных параллельных линий впереди косых отрезков и от TO_{min} 0.8 ± 0.5 мм до $\mathrm{TO}_{\mathrm{max}}\,6.8\pm0.4$ мм при восприятии вертикальных параллельных линий позади косых отрезков. Для вариантов трехмерной фигуры Поггендорффа с эффектом наклона параллельных линий в сагиттальной плоскости диапазон ошибок составлял от TO_{min} 3.5 ± 0.5 мм до TO_{max} 12.8 ± 0.5 мм при наклоне параллельных линий верхними концами назад и составлял от TO_{min} 3.2 ± 0.5 мм до TO_{max} 12.9 ± 0.5 мм при наклоне параллельных линий верхними концами вперед.

При сравнении двухмерной контрольной фигуры Поггендорффа и ее трехмерных вариантов нужно отметить достоверный сдвиг вниз TO_{max} в трехмерных изображениях с фронтопараллельным разделением вертикальных параллельных линий и косых отрезков (t = 3.52, p < 0.002 для восприятия параллельных линий впереди косых отрезков и t = 5.1, p < 0.001 для восприятия вертикальных линий позади косых отрезков), а также достоверный сдвиг вверх TO_{max} в трехмерных изображениях с наклоном параллельных линий в сагиттальной плоскости (t = 4.5, p < 0.001 для восприятия наклона параллельных линий нижними концами вперед и t = 4.7, p < 0.001 для восприятия параллельных линий нижними концами назад).

Отмечалась достоверная разница в значениях ТО_{тіп} между трехмерными изображениями с фронтопараллельным разделением параллельных линий и косых отрезков и изображениями, создающими эффект наклона параллельных линий в сагиттальной плоскости: t = 4.5, p < 0.001 при сравнении TO_{min} для изображений с положением параллельных линий впереди косых отрезков и ТО_{тіп} для изображений с эффектом наклона параллельных линий нижними концами вперед; t = 4.7, p < 0.001 при сравнении ТО_{тіп} для изображений с положением параллельных линий впереди косых отрезков и TO_{min} для изображений с эффектом наклона параллельных линий нижними концами назад; t = 3.7, p < 0.002 при сравнении ТО_{тіп} для изображений с положением параллельных линий позади косых отрезков и TO_{min} для изображений с эффектом наклона параллельных линий нижними концами вперед; t = 4.1, p < 0.002

при сравнении TO_{min} для изображений с положением параллельных линий позади косых отрезков и TO_{min} для изображений с эффектом наклона параллельных линий нижними концами назад.

При сравнении диапазонов существования иллюзии нужно отметить достоверную разницу между диапазонами для трехмерных изображений с фронтопараллельным разделением параллельных линий и косых отрезков и трехмерных изображений с наклоном параллельных линий в сагиттальной плоскости: t = 3.8, p < 0.002 при сравнении диапазона для изображений с фронтопараллельным разделением деталей при восприятии параллельных линий впереди косых отрезков и диапазонов для изображений с наклоном параллельных линий; t = 6.5, p < 0.001 при сравнении диапазона для изображений с фронтопараллельным разделением деталей при восприятии параллельных линий позади косых отрезков и диапазонов для изображений с наклоном параллельных линий. При сравнении с диапазоном для контрольного плоского изображения достоверная разница выявлялась между ним и диапазоном для трехмерного изображения с фронтопараллельным разделением деталей при восприятии параллельных линий впереди косых отрезков (t = 2.5, p < 0.05) и при восприятии параллельных линий позади косых отрезков (t = 5.2, p < 0.001).

Авторы не обнаружили достоверной разницы в выраженности иллюзии при сравнении трехмерных изображений с наклоном параллельных линий в сагиттальной плоскости верхними концами назад и трехмерных изображений с наклоном параллельных линий в сагиттальной плоскости верхними концами вперед.

Полученные нами данные хорошо согласуются с результатами, полученными B. Gillam et al. [7, 25], которые предложили теорию возникновения иллюзии Поггендорффа, включающую механизмы восприятия глубины и пространственной структуры (depth-processing theory). Как и некоторые другие исследователи [21, 26, 27], они предположили, что геометрические иллюзии возникают благодаря тенденции перцептивных систем обрабатывать двумерные фигуры как трехмерную сцену и, следовательно, изучение процессов, вовлеченных в восприятие трехмерных изображений, будет вести к лучшему пониманию таких иллюзий. В отношении иллюзии Поггендорффа теория *B. Gillam* предполагает, что в классическом варианте фигуры Поггендорффа косые линии воспринимаются в перспективе как удаляющиеся горизонтальные линии и в таком случае автоматически обрабатываются как удаляющиеся в горизонтальной плоскости трехмерного пространства. При этом разница в высоте изолированных косых отрезков воспринимается одновременно и как разница в положении по глубине. Однако ко-

гда конечные точки косых отрезков присоединяются к вертикальным линиям, они "прикрепляются" к фронтальной плоскости, ограниченной параллельными вертикальными линиями. Следовательно, разница по высоте между конечными точками косых в этом случае обрабатывается не как различие по глубине в трехмерном пространстве, а как разница по высоте двух удаляющихся линий. В серии экспериментов было установлено, что, когда косые отрезки и соединяющая их виртуальная линия воспринимаются впереди плоскости ограниченной параллельными вертикальными линиями, кажущееся смещение косых отрезков значительно уменьшается (косые отрезки чаще кажутся расположенными на одной линии). В другой серии экспериментов авторы меняли форму верхнего и нижнего краев фигуры, ограниченной вертикальными параллельными линиями так, чтобы эта фигура казалась либо в коллинеарной плоскости с косыми отрезками, либо во фронтальной (неколлинеарной с косыми отрезками) плоскости, либо в плоскости, перпендикулярной к плоскости косых линий. В результате этой серии экспериментов, было показано значительное увеличение силы иллюзии при развороте фигуры в неколлинеарной с косыми плоскости и, наоборот, значительное уменьшение иллюзии при совпадении плоскостей, что свидетельствует, по мнению авторов, о значительном участии процессов обработки трехмерной информации в существовании иллюзии Поггендорффа [25].

Согласно модели, предложенной Г.Я. Меньшиковой, для плоских изображений, вызывающих геометрические иллюзии, доминируют механизмы среднего уровня обработки зрительной информации, тогда как введение бинокулярных признаков глубины инициирует механизмы когнитивного уровня. При этом введение признаков глубины позволяет изменять локализацию и ориентацию отдельных элементов паттерна иллюзии в трехмерном пространстве. Подобные трансформации приводят к тому, что интерпретация трехмерной сцены зрительной иллюзии осуществляется по другим правилам относительно правил, характерных для двухмерного паттерна [1].

выводы

1. Количественная оценка диапазона существования иллюзии Поггендорффа дает возможность достаточно полно и объективно исследовать ее проявления при предъявлении как плоских, так и трехмерных изображений.

2. При рассматривании предлагаемых вариантов фигуры Поггендорффа наибольшая выраженность иллюзии выявляется при наклоне параллельных линий в сагиттальной плоскости. 3. Наименьшая выраженность иллюзии наблюдается при фронтопараллельном разделении вертикальных линий и косых отрезков, особенно когда косые отрезки воспринимаются в плоскости, находящейся впереди параллельных линий.

Этические нормы. Исследование проводили в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. И ее последующих обновлениях, и одобрены 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 официальным представителем (для несовершеннолетних) после разъяснения характера предстоящего исследования.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Меньшикова Г.Я., Лунякова Н.В., Полякова Н.В. Влияние трехмерной конфигурации на выраженность зрительных иллюзий / Современная экспериментальная психология: В 2 т. Под ред. Барабанщикова В.А. М.: Изд-во ИП РАН, 2011. Т. 2. Гл. 39. С. 135.
- 2. *Ninio J.* Geometrical illusions are not always where you think they are: a review of some classical and less classical illusions, and ways to describe them // Front. Hum. Neurosci. 2014. V. 8. P. 1.
- Zavagno D., Daneyko O., Stucchi N. The Poggendorff illusion before Poggendorff // Perception. 2015. V. 44. № 1. P. 383.
- Myniec A., Bednarek H. Field dependence, efficiency of information processing in working memory and susceptibility to orientation illusions among architects // Polish Psychological Bulletin. 2016. V. 47. № 1. P. 112.
- 5. Шошина И.И., Медведев Л.Н. Возрастные особенности пола и зрительной асимметрии на восприятие фигуры Поггендорфа // Сенсорные системы. 2005. Т. 19. № 1. С. 37.
- 6. *Медведев Л.Н., Кочнева К.С.* Влияние предварительной установки на возникновение зрительной иллюзии Поггендорфа // Сенсорные системы. 2014. Т. 28. № 2. С. 33.
- Gillam B. A depth processing theory of the Poggendorff illusion // Perception & Psychophysics. 1971. V. 10. № 4. P. 211.
- Ninio J., O'Regan J.K. Characterization of the misalignment and misangulation components in the Poggendorff and corner-Poggendorff illusion // Perception. 1999. V. 28. № 8. P. 949.
- Ekroll V., Gilchrist A., Koenderink J. Poggendorff rides again! // i-Perception. 2015. V. 6. № 1. P. 15.

- 10. *Deregowski J.B.* Real space and represented space: Cross-cultural perspectives // Behavioral and Brain Sciences. 1989. V. 12. № 1. P. 51.
- 11. *Howe C.Q., Yang Z., Purves D.* The Poggendorff illusion explained by natural scene geometry // Proc. Nat. Acad. Sci. 2005. V. 102. № 21. P. 7707.
- Philips D. The Poggendorff illusion: premeditated or unpremeditated misbehaviour? // Perception. 2006. V. 35. № 12. P. 1709.
- Bozhevolnyi S.I. Light refraction by water as a rationale for the Poggendorff illusion // Perception. 2017. V. 46. № 1. P. 78.
- 14. Weintraub D.J., Tong L. Assessing Poggendorff effects via collinearity, perpendicularity, parallelism and Oppel (distance) experiments // Perception & Psychophysics. 1974. V. 16. № 2. P. 213.
- 15. *Melmoth D., Grant S., Solomon J.A., Morgan M.J.* Rapid eye movements to a virtual target are biased by illusory context in the Poggendorff figure // Exp. Brain Res. 2015. V. 233. № 7. P. 1993.
- Morgan M., Dillenburger B. Geometrical features underlying the perception of collinearity // Vision Res. 2016. V. 128. P. 83.
- Shen L., Zhang M., Chen Q. The Poggendorff illusion driven by real and illusory contour: Behavioral and neural mechanisms // Neuropsychologia. 2016. V. 85. P. 24.
- Greist-Bousquet S., Schiffman H. The basis of Poggendorff effect: An additional clue for Day and Kasperczyk // Perception & Psychophysics. 1986. V. 39. № 6. P. 447.
- Day R. On the common stimulus condition and explanation of Muller-Lyer, Poggendorff and Zollner illusions // Austral. J. Psychol. 2010. V. 62. № 3. P. 115.
- Talasli U., Inan A.B. Applying Emmert's law to the Poggendorff illusion // Front. Hum. Neurosci. V. 9. Article 531. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00531
- Gregory R.L. Distortion of visual space as inappropriate constancy scaling // Nature. 1963. V. 199. № 4894. P. 678.
- 22. *Fisher G.H., Lucas A.* Geometrical illusions and figural after-effects. The distorting and distorted components of illusions // Vision Res.1970. V. 10. № 5. P. 393.
- 23. *Fischer B., da Pos O., Stürzel F.* Illusory illusions: The significance of fixation on the perception of geometrical illusion // Perception. 2003. V. 32. № 8. P. 1001.
- 24. *Рычкова С.И.* Количественная оценка иллюзии Поггендорффа у школьников с нормальным бинокулярным зрением и при косоглазии // Сенсорные системы. 2018. Т. 32. № 2. С. 137.
- 25. Spehar B., Gillam B. Modal completion in the Poggendorff illusion: support for the depth-processing theory // Psychological Science. 2002. V. 13. № 4. P. 306.
- 26. *Green R.T., Hoyle E.M.* The Poggendorff illusion as a constancy phenomenon // Nature. 1963. V. 200. № 4906. P. 611.
- Redding G.M., Hawley E. Lenghth illusion in fractional Muller-Lyer stimuli: An object perception approach // Perception. 1993. V. 22. № 7. P. 819.

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА том 46 № 4 2020

Quantitative Study of Poggendorff Illusion in School Children in the Terms of 3D Presentation of Images

S. I. Rychkova^{a, *}, R. I. Sandimirov^{b, c}, L. V. Kosobutskaya^c

^aInstitute for Information Transmission Problems, RAS, Moscow, Russia ^bSchool № 1852, Moscow, Russia ^cPirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia *E-mail: lana.rvch@mail.ru

Quantitative estimation of the power of Poggendorff illusion was performed in school children upon the presentation of three-dimensional images created via anaglyphic separation of vision fields. The study included 34 school children with normal binocular vision. We used three-dimensional variants of the classic image that causes Poggendorff illusion; the test line segment and the reference line segment were located at an angle of 45 degrees to the parallel vertical lines. We found that the power of Poggendorff illusion depends on the threedimensional spatial orientation of the details of test objects. The maximal power of the illusion was observed when the parallel lines are inclined in the sagittal plane; the minimal power of the illusion was observed when the vertical lines and the oblique segments are located in different frontal planes.

Keywords: Poggendorff illusion, quantitative estimate, three-dimensional images, anaglyphic separation of vision fields.