



ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПОРОГИ РАЗЛИЧЕНИЯ ДЛИНЫ ОТРЕЗКОВ В УСЛОВИЯХ ИЛЛЮЗИИ МЮЛЛЕРА-ЛАЙЕРА

ШОШИНА И. И., Сибирский федеральный университет, Красноярск

ПРОНИН С. В., Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

ШЕЛЕПИН Ю. Е., Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

Работа посвящена исследованию цифровой фильтрации линий в иллюзии Мюллера-Лайера, проводимой с целью выделения высокочастотной и низкочастотной составляющих. Цифровая фильтрация производилась путем свертки изображений с DoG-функциями (differential of Gaussian) – вейвлетами, представляющими собой разность двух гауссоид с отличающейся в два раза полушириной. Для выделения из изображений высокочастотной составляющей использовалась DoG-функция размером 0,27 угловых градуса, низкочастотной – 2,13 угловых градуса; выраженность иллюзии измерялась модифицированным методом Грегори. В результате исследования было установлено, что иллюзия Мюллера-Лайера сохраняется как при высокочастотной, так и при низкочастотной фильтрации тестовых изображений. Однако при предъявлении изображений фигуры с низкими пространственными частотами величина ошибки, обусловленная иллюзией, возрастает на 10 % по сравнению с величиной ошибки, возникающей в ответ на предъявление изображения с высокими пространственными частотами. Нейрофизиологический механизм зафиксированных различий, вероятно, заключается в особенностях пространственно-частотной настройки рецептивных полей нейронов зрительной коры, которая усиливается в высокочастотном пространственном диапазоне. Выдвинуто предположение о том, что моделирование иллюзии Мюллера-Лайера должно учитывать как пространственно-частотный спектр тестового изображения, так и характеристики полосовой фильтрации в пространственно-частотных каналах первичных отделов зрительной системы, а также роль высших отделов зрительной системы, осуществляющих построение огибающей на основе предварительной работы рецептивных полей первичной зрительной коры.

Ключевые слова: зрение, восприятие, иллюзия Мюллера-Лайера, длина отрезков, пространственно-частотная фильтрация, вейвлеты.

Введение

Иллюзия Мюллера-Лайера является одним из наиболее известных примеров геометрических иллюзий. Она состоит в том, что отрезок со стрелками на концах, обращенными острыми внутрь, кажется длиннее, чем такой же отрезок со стрелками, обращенными наружу. Данной иллюзии посвящено огромное количество исследований, вероятно, много больше, чем всем остальным. Однако вопрос о механизме ее возникновения до сих пор остается открытым.

В настоящее время активно обсуждается целый ряд теоретических предположений: теория перспективы или неправильного использования механизма константности (Грегори, 1970), теория усреднения или ассимиляции сравниваемых отрезков с контекстными элементами (Predebon, 2000; Pressay A., Pressay C., 1992), концепция некорректного кодирования позиций вершин наконечников (Morgan et al., 1990), теория низкочастотной фильтрации изображения зрительной системой (Ginsburg et al., 1976; Ginsburg, Evans, 1979; Ginsburg, 1977, 1980, 1981, 1982, 1984), «центроидная» концепция (Булатов и др. 2009). Каждая из перечисленных теорий имеет экспериментальное подтверждение, однако ни одна из них не является общепризнанной.



Остановимся на одной из наиболее проработанных гипотез о механизме возникновения данной иллюзии, предложенной А. Гинзбургом (Ginsburg, 1977, 1980) и основанной на теории пространственно-частотной фильтрации. Согласно модели Гинзбурга, искаженной является низкочастотная составляющая самого исходного изображения, а вследствие его низкочастотной фильтрации в зрительной системе наблюдателя эта искаженная составляющая становится видимой наблюдателю. Иными словами, это не искажение восприятия, а восприятие истинного изображения, определяемое самой структурой отрезков со стрелками (Ginsburg, 1980, 1981, 1982, 1984). Аналогичное мнение разделяют и другие исследователи (Di Maio, 2000). Очень близка к модели Гинзбурга и «центроидная» теория, которая по существу является ее частным случаем (Булатов и др. 2009). В пользу теории фильтрации свидетельствуют данные о влиянии на величину иллюзии Мюллера-Лайера длины сравниваемых линий, а также длины и угла наклона отрезков, образующих концы стрелок (Булатов и др., 1995; Огнивов и др., 2006; Carrasco et al., 1986; Gutauskas et al., 1993; Di Maio, 1998, 2000).

Однако другие авторы (Carlson et al., 1984) показали, что та же иллюзия возникает и при предъявлении классического рисунка Мюллера-Лайера в виде точечного стимула, свободного от низких пространственных частот или с уменьшенным их вкладом. И следовательно, был сделан вывод, что данная геометрическая иллюзия не является результатом только низкочастотной пространственной фильтрации.

Таким образом, в настоящее время выдвинут ряд гипотез о причинах возникновения иллюзии Мюллера-Лайера, однако имеющиеся экспериментальные данные не позволяют сделать однозначный выбор в пользу какой-либо из них, что приводит к необходимости проведения дальнейших исследований. Целью данной работы является исследование влияния предварительной пространственно-частотной фильтрации тестовых изображений на пороги возникновения иллюзии Мюллера-Лайера.

Методика

Измерения проводились в помещении с уровнем освещенности 8-cd/m^2 . Стимулы предъявлялись на экране монитора 17' Samsung Samtron 76E (с яркостью 90-cd/m^2). В качестве стимулов были использованы: отрезок со стрелочками, направленными наружу, – референтный; отрезок линии со стрелочками, направленными внутрь, – тестовый (классический вариант отрезков Мюллера-Лайера; рис. 1, а). Длина сравниваемых отрезков составляла 6,7 см (5 угловых градусов), крыльев – 2 см (1,5 угловых градуса), расстояние от испытуемого до монитора – 80 см.

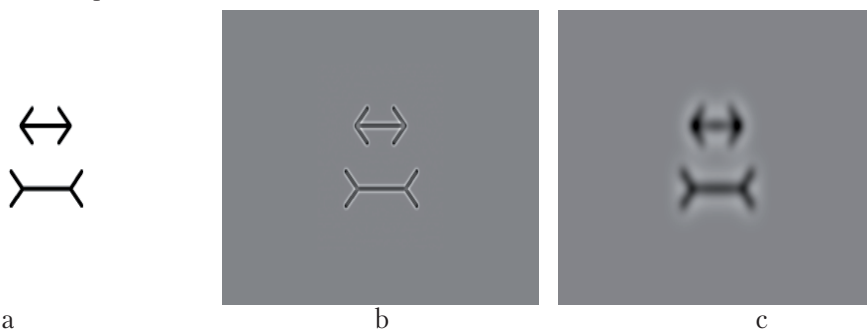


Рис. 1. Отрезки, использованные в измерениях степени выраженности иллюзии Мюллера-Лайера: *a* – нефильрованное изображение, *b* – изображение, содержащее высокие частоты (размер DoG – 0,27 градуса), *c* – изображение с низкими пространственными частотами (размер DoG – 2,13 градуса).



Таким образом, проекция сравниваемых отрезков фигуры Мюллера-Лайера на сетчатке занимала область в 5 градусов. Угол между отрезками, образующими стрелку, составлял 45 и 135 градусов.

Цифровая фильтрация изображения осуществлялась путем его свертки с DoG-функциями – вейвлетами, представляющими собой разность двух гауссоид с отличающейся в два раза полушириной:

$$DoG(x, y) = 2G(x, y, \sigma) - G(x, y, 2\sigma),$$

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

где σ – полуширина более узкой гауссоиды.

Для выделения из изображений высокочастотной составляющей была использована DoG-функция размером 0,27 угловых градуса, низкочастотной – 2,13 угловых градуса. Под размером (диаметром) DoG-функции подразумевается угловое расстояние между двумя минимумами на ее диаметральном сечении.

В ходе исследования каждому испытуемому в трех сериях измерений в центре экрана монитора последовательно предъявляли три изображения отрезков из иллюзии Мюллера-Лайера: одно в нефильтрованном виде и два фильтрованных изображения. От испытуемого требовали нажатием правой клавиши компьютерной мыши уравнивать величину тестового отрезка с референтным. Ограничения по времени разглядывания стимула отсутствовали. Порог иллюзии рассчитывали по формуле: $\Pi = W_1/W_2 \times 100\%$, где W_1 – длина тестового отрезка, W_2 – длина референтного отрезка. Таким образом, чем больше пороговая величина иллюзии, тем менее склонен испытуемый к зрительному искажению длины отрезка.

Для фиксации головы испытуемого использовалась стандартная лобно-подбородная подставка, называемая офтальмологами лицевой установкой. Наблюдение осуществлялось бинокулярно. В исследованиях участвовали 45 испытуемых в возрасте от 18 до 39 лет (21 из которых мужчины). Острота зрения всех испытуемых была нормальной или скорректированной до нормы; ни один испытуемый не страдал нарушениями зрения до проведения теста. Условия проведения исследований соответствовали Хельсинкской декларации всемирной медицинской ассоциации.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью пакета статистических программ SPSS-13. Проверка выборки на нормальность распределения выполнялась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Для каждой выборки значение критерия было значительно больше 0,05, что указывало на соответствие распределения нормальному виду. Оценка достоверности различий осуществлялась с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и Т-критерия Стьюдента.

Результаты

Результатом проведенных исследований стало измерение порогов возникновения иллюзии Мюллера-Лайера при предъявлении обычных и отфильтрованных изображений. Было установлено, что иллюзия Мюллера-Лайера сохраняется как при высокочастотной, так и при низкочастотной пространственной фильтрации тестовых изображений. Однако при низкочастотной фильтрации величина иллюзии возросла на 10 % по сравнению с ве-

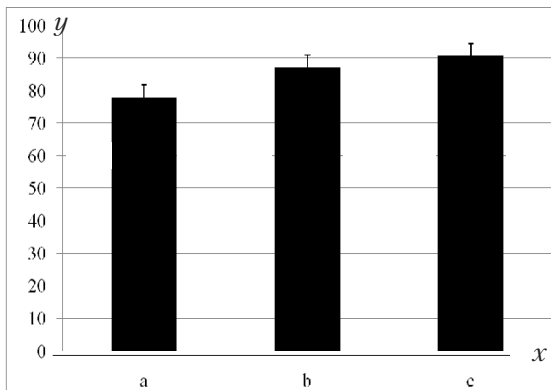


Рис. 2. Влияние предварительной фильтрации на порог иллюзии Мюллера-Лайера. По оси x – вид предъявляемого отрезка: a – изображение с низкими пространственными частотами, b – изображение, содержащее высокие частоты, c – нефильтрованное изображение; вертикальные линии у каждого столбца – планки погрешностей со стандартными ошибками; по оси y – порог иллюзии в процентах

мое низкое значение дисперсии, отражающей изменчивость признака, – 16,7. В то же время при предъявлении изображения фигуры с низкими пространственными частотами дисперсия оказалась наибольшей – 74,3. Дисперсия величины иллюзии, возникающей при предъявлении линий с высокими пространственными частотами, составила 28,7.

В ходе анализа полученных данных гендерных различий не зафиксировано: при предъявлении нефильтрованного изображения достоверность различий между порогами иллюзии Мюллера-Лайера, возникающей как у мужчин, так и у женщин, составила $p < 0,2$, для фильтрованных изображений – $p < 0,6$. Отличия имели место только по величине дисперсии: для мужчин она оказалась меньшей и составила 22,4 единицы, в то время как для женщин – 33,4. Итак, в случае иллюзии Мюллера-Лайера половые различия отсутствуют, тогда как при решении другой зрительно-пространственной задачи – оценки местоположения частей объекта (иллюзия Поггендорфа) – нами была установлена большая точность мужчин по сравнению с женщинами (Медведев, Шошина, 2004); вероятно, гендерные различия в решении тех или иных зрительно-пространственных задач так или иначе зависят от типа задачи.

Обсуждение

Результаты данного исследования показывают, что иллюзию Мюллера-Лайера можно воспроизвести при предъявлении изображений, состоящих как из высокочастотной, так и из низкочастотной составляющей исходного изображения. Это согласуется с данными исследования, выполненного с помощью другой методики (Skottun, 2000). Однако, как показали наши исследования, при предъявлении изображения, содержащего преимущественно низкие пространственные частоты, порог иллюзии снижается на 10%, что, в свою очередь, свидетельствует в пользу ведущей роли низкочастотной составляющей изображения в возникновении иллюзии Мюллера-Лайера и находит свое подтверждение в работах других исследователей (Carrasco et al., 1986). Для разделения пространственно-частотных каналов авторы используют способность нейронных каналов адаптироваться к определенной полосе пространственных частот, продемонстрированную еще в работе К. Блейкмора

личной иллюзии при высокочастотной фильтрации (рис. 2; $F_{2,3} = 28,2$; $p < 1,5 \cdot 10^{-6}$).

При предъявлении изображения, содержащего только высокие пространственные частоты, порог иллюзии составил 87,0%, только низкие пространственные частоты – 78,0%. При предъявлении нефильтрованного изображения порог иллюзии составил 90,7%. Пороги для нефильтрованного изображения и для изображения с высокими пространственными частотами также достоверно отличались ($p < 0,006$).

Обращает на себя внимание тот факт, что порог иллюзии Мюллера-Лайера при предъявлении нефильтрованного изображения фигуры имеет самое



и Ф. Кемпбелла (Blakemore, Campbell, 1969). В ходе исследований М. Караско с соавторами (Carrasco et al., 1986) установлено, что адаптация к вертикальным решеткам низкой пространственной частоты уменьшает величину иллюзии Мюллера-Лайера; адаптация уменьшает чувствительность зрительных каналов, настроенных на более низкие пространственные частоты, что приводит к доминированию в восприятии высокочастотной части изображения, а это, в свою очередь, может способствовать уменьшению величины иллюзии.

Нейрофизиологический механизм усиления выраженности иллюзии по мере снижения пространственной частоты может быть обусловлен особенностями ориентационной и пространственно-частотной настройки рецептивных полей нейронов зрительной коры, которая усиливается в высокочастотном диапазоне (Tolhurst, Thompson, 1982; DeValois et al., 1982). Нейроны, оптимально реагирующие на низкие пространственные частоты, вообще редко встречаются в первичной зрительной коре (Bredfeldt, Ringach, 2002). Контрастная чувствительность зрительной системы в области низких пространственных частот снижена, что является отражением процессов, происходящих еще на уровне сетчатки. Однако для понимания механизма возникновения иллюзии необходимо принять во внимание еще и работу нейронов внемстриарной коры, настройка рецептивных полей которых происходит в низкочастотной области (Шелепин, 1982, 1984). Роль этих нейронов состоит не только в обработке информации о низкочастотной составляющей изображения, но и в построении огибающей отдельных фрагментов изображения. Вероятно, именно эти нейроны обеспечивают целостное описание изображения (Шелепин, 1973). Иными словами, именно они определяют статистику изображения, в том числе строят низкочастотную огибающую по модулированному высокочастотному сигналу, определяют центр тяжести и т. д.

И тогда, если усилить низкочастотную составляющую в самом тестовом изображении, зрительной системе станет проще определить центр тяжести отрезков в иллюзии Мюллера-Лайера или рассчитать распределение оптической плотности изображения по площади всего рисунка. Таким образом, ключевым моментом в правильном распознавании рисунка является согласование статистики тестового изображения и характеристик рецептивных полей, обеспечивающих распознавание этого сигнала.

Тот факт, что иллюзия сохраняется и при предъявлении изображения, содержащего после фильтрации только высокие пространственные частоты, свидетельствует не только о значении низкочастотной составляющей в протекании данного процесса, но и о наличии некоей более сложной оценки, осуществляемой с использованием высоких пространственных частот; в частности, возможно, используется оценка расположения центров тяжести локальных элементов или всей фигуры в целом.

Согласно «центроидной» концепции, иллюзии длины, в том числе иллюзия Мюллера-Лайера, могут возникать в результате перцептуального смещения местоположения локальных центров масс, или, иначе говоря, локальных центров тяжести (центроидов) тестовой фигуры, чье положение меняется при воздействии расположенных рядом дистракторов. Исследования по изучению саккад свидетельствуют о тенденции наблюдателей фиксировать взор вблизи областей, соответствующих центрам масс стрелок в отрезках (Ярбус, 1965). Обратив внимание на изображение отрезков, полученное после низкочастотной фильтрации (рис. 1,с), можно заметить, что центроиды – центры тяжести базовой фигуры со стрелками, направленными наружу, – смещены к центру отрезка. Таким образом, низкочастотная фильтрация является наиболее оптимальным методом демонстрации центров тяжести; при этом само изображение после фильтрации искажается так сильно, что влечет за



собой и его субъективное искажение в зрительной системе наблюдателя, а именно: линия со сходящимися стрелками не только кажется, но и является длиннее, если измерять расстояние только между центроидами, а не между концами отрезков.

На наш взгляд, зрительное искажение длины в иллюзии Мюллера-Лайера может быть описано с помощью модели, объединяющей в себе несколько составляющих, в частности, физические свойства тестовых изображений, статистику изображений и согласованную со статистикой изображений многоканальную полосовую фильтрацию, а также расчет центра тяжести элементов фигуры во внестриарных областях зрительной коры и взаимодействие между ориентационно-оппонентными каналами (Шелепин, 1981, 1982; Шелепин и др., 1985, 1998). Геометрия всего изображения, пространственная перспектива (Грегори, 1970) становятся важными уже на вторичном этапе, при работе наблюдателя с изображениями сцен. В качестве примера можно привести восприятие сторон бильярдного стола в картине Ван Гога «Ночное кафе»: разница в длине сторон бильярдного стола в субъективной оценке оказывается меньше объективных размеров сторон стола. Мы предполагаем, что в данном случае иллюзия Мюллера-Лайера компенсирует перспективные искажения элементов сцены, что может служить подтверждением модели Грегори.

По существу интерпретация полученных нами экспериментальных данных, а также описание модели, основанной на низкочастотной фильтрации и «центроидной» концепции, могут быть сведены к одному простому утверждению: поскольку зрительная система человека всегда или в большинстве случаев воспринимает стимул как целостный объект, то и описывать этот стимул исследователи должны как целостный объект без произвольного выбора тех или иных его параметров. Данное утверждение может быть подтверждено результатами исследований так называемой гиперостроты зрения, где мы показали, что верньерная гиперострота обеспечивается не механизмом оценки смещения двух линий, а механизмом оценки ориентационной составляющей в изображении пары линий или точек, которую можно выявить при описании всей верньерной пары в целом (Шелепин и др., 1998). Так и в случае иллюзии Мюллера-Лайера должно присутствовать описание всего изображения в целом, где вопрос выбора языка описания – пространственно-частотного или основанного на определении смещения центров тяжести – является второстепенным; оба этих описания дают количественную оценку геометрии фигуры в целом, подтверждая тот факт, что глаз не видит сравниваемые отрезки сами по себе без добавочных линий, обеспечивающих возникновение иллюзии.

Литература

Булатов А. Н., Бертулис А. В., Мицкене Л. И. Количественные исследования геометрических иллюзий // Сенсорные системы. 1995. Т. 9. № 2-3. С. 79–93.

Булатов А. Н., Бертулис А. В., Белявичус А., Булатова Н. Иллюзии длины и их описание на основе центроидной концепции // Сенсорные системы. 2009. Т. 23. № 1. С. 3–12.

Грегори Р. Л. Глаз и мозг: психология зрительного восприятия. М.: Прогресс, 1970.

Медведев Л. Н., Шошина И. И. Количественная оценка влияния пола и типа межполушарной асимметрии на искажение зрительного восприятия фигуры Поггендорфа в модификации Джастроу // Физиология человека. 2004. Т. 30. № 5. С. 5–11.

Огнивов В. В., Рожкова Г. И., Токарева В. С., Бастаков В. А. Средняя величина и вариабельность иллюзии Мюллера-Лайера в сравнении с глазомером у детей и взрослых // Сенсорные системы. 2006. Т. 20. № 4. С. 288–299.

Шелепин Ю. Е. Локализация областей зрительной коры кошки, дающих инвариантный ответ при из-



- менении размера изображения // *Нейрофизиология*. 1973. Т. 5. № 2. С. 115–121.
- Шелепин Ю. Е.* Фильтрационные свойства рецептивных полей нейронов зрительной коры // *Доклады АН СССР*. 1981. Т. 261. № 6. С. 1506–1509.
- Шелепин Ю. Е.* Пространственно-частотные характеристики рецептивных полей нейронов латеральной супрасильвиевой области // *Нейрофизиология*. 1982. Т. 14. № 6. С. 608–614.
- Шелепин Ю. Е.* Сопоставление топографических и пространственно-частотных характеристик латеральной супрасильвиевой и стриарной коры кошки // *Нейрофизиология*. 1984. Т. 16. № 1. С. 35–41.
- Шелепин Ю. Е., Колесникова Л. Н., Левкович Ю. И.* Визоконтрастометрия (Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы). Л.: Наука, 1985.
- Шелепин Ю. Е., Макулов В. Б., Красильников Н. Н., Чихман В. Н., Пронин С. В., Даниличев В. Ф., Коскин С. А.* Иконика и методы оценки функциональных возможностей зрительной системы // *Сенсорные системы*. 1998. № 3. С. 319–328.
- Шелепин Ю. Е., Фокин В. А., Хараузов А. К., Пронин С. В., Чихман В. Н.* Локализация центра принятия решений при восприятии формы зрительных стимулов // *Доклады Академии наук*. 2009. Т. 429. № 6. С. 835–837.
- Шелепин Ю. Е., Чихман В. Н., Чихман А. В.* Информативные признаки верньерных стимулов // *Сенсорные системы*. 1998. № 2. С. 210–220.
- Шелепин Ю. Е., Чихман В. Н.* Локальный и глобальный анализ в зрительной системе // *Современная психофизика* / Под ред. В. А. Барабанщикова. 2009. С. 310–335.
- Шелепин Ю. Е., Чихман В. Н., Фореман Н.* Анализ исследований восприятия фрагментированных изображений: целостное восприятие и восприятие по локальным признакам // *Физиологический журнал*. 2008. Т. 94. № 7. С. 758–776.
- Ярбус А. Л.* Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965.
- Blakemore C., Campbell F. W.* On the Existence of Neurons in the Human Visual System Selectivity Sensitive to the Orientation and Size of Retinal Images // *J. Physiol.* 1969. V. 203. P. 237–260.
- Bredfeldt C. E., Ringach D. L.* Dynamics of Spatial Frequency Tuning in Macaque V1 // *The Journal of Neuroscience*. 2002. V. 22. № 5. P. 1976–1984.
- Carlson C. R., Moeller J. R., Anderson C. H.* Visual illusions without low spatial frequencies // *Vision. Res.* 1984. V. 24. № 10. P. 1407–1413.
- Carrasco M., Figueroa J. G., Willen J. D.* A test of the spatial-frequency explanation of the Müller-Lyer Illusion // *Perception*. 1986. V. 15. № 5. P. 553–562.
- DeValois R.L., Albrecht D. G., Thorell L. G.* Spatial frequency selectivity of cells in macaque visual cortex // *Vision Res.* 1982. V. 22. P. 545–559.
- Di Maio V., Lansky P.* The Müller-Lyer Illusion in interpolated figures // *Percept. Mot. Skills*. 1998. V. 87. № 2. P. 499–504.
- Di Maio V.* Perceptual versus Cognitive processing in visual perception of geometrical figures: A Short review // *Sistema Nervoso e Riabilitazione*. 2000. V. 1. P. 35–44.
- Ginsburg A.P.* Visual Information Processing Based on Spatial Filters Contained by Biological Data: Dissertation for Ph. D. University of Cambridge. 1977.
- Ginsburg A. P.* Specifying relevant spatial information for image evaluation and display design: an explanation of how see certain objects // *Proceedings of the SID*. 1980. V. 21. № 3. P. 219–227.
- Ginsburg A. P.* Perceptual capabilities, ambiguities and artifacts in man and machine // *SPIE*. 1981. V. 283. P. 78–82.
- Ginsburg A. P.* On a filter approach to understanding the perception of visual form // *Recognition of Pattern and Form* / Ed. D. G. Albrecht. Berlin: Springer. 1982. P. 175–192.
- Ginsburg A.P.* Visual form perception based on biological filtering // *Sensory Experience, Adaptation and Perception* / Eds. L. Spillmann, B.R. Wooten. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 1984. P. 53–72.



- Ginsburg A. P., Evans D. W.* Predicting visual illusions from filtered images based upon biological data // *Journal of the Optical Society of America.* 1979. V. 69. P. 1443.
- Ginsburg A. P., Carl J. W., Kabrisky M., Hall C. F., Gill R. A.* Psychological Aspects of a Model for the Classification of Visual Image // *Advances in Cybernetics & Systems* / Ed. J. Rose. London: Gordon and Breach. 1976. P. 1289–1305.
- Gutauskas A., Bertulis A., Bulatov A.* Shape recognition thresholds: Correlation with spatial frequency spectrum of the stimuli // *Perception.* 1993. V. 22. № 1. P. 99–108.
- Morgan M. J., Hole G. J., Glennerster A.* Biases and sensitivities in geometrical illusion // *Vision. Res.* 1990. V. 30. P. 1793–1810.
- Predebon J.* Length illusions in conventional and single wing Müller-Lyer stimuli // *Percept. Psychophys.* 2000. V. 62. № 5. P. 1086–1098.
- Pressay A. W., Pressay C. A.* Attentive fields are related to focal and contextual features: A study of Müller-Lyer distortions // *Percept. Psychophys.* 1992. V. 51. P. 423–432.
- Skottun B. C.* Amplitude and phase in the Müller-Lyer illusion // *Perception.* 2000. V. 29. P. 201–209.
- Tollhurst D. J., Thompson I. D.* On the variety of spatial frequency selectivities shown by neurons in area 17 of the cat // *Proc. R. Soc. Lond.* 1982. B213. P. 83–199.

INFLUENCE OF PRELIMINARY FILTRATION OF IMAGES ON THRESHOLDS OF DISTINCTION OF THE LENGTH OF SEGMENTS IN THE MÜLLER–LYER ILLUSION

SHOSHINA I. I., Siberian Federal University, Krasnoyarsk

PRONIN S. V., I. P. Paolov Institute of physiology of RAS, St. Petersburg

SHELEPIN J. E., I. P. Paolov Institute of physiology of RAS, St. Petersburg

This work is dedicated to the study of the digital filtering of the lines in the Müller-Layer illusion with the purpose of allocation of high- and low-frequency components. Digital filtration performed by convolving the image with a DoG-function (differential of Gaussian) – wavelets, representing the difference between of the two different gaussoid with twice the half-width. For allocation from images of a high-frequency component we used DoG-function in the size of 0,27 angular degrees, low-frequency – 2,13 angular degrees; the severity of the illusion was measured by a modified method of Gregory. It was found that the Müller-Lyer illusion remains unchanged both at high-frequency and at low-frequency filtering of test images. However, when presenting the figure of low spatial frequencies, the value of error caused by the illusion erases by 10% compared to the value of error arising in response to the presentation of images with high spatial-frequencies. Neurophysiologic mechanism for fixed differences probably consists in the peculiarities of spatial-frequency settings receptive fields of neurons in the visual cortex – which is enhanced in the high spatial range. It is suggested that the simulation of Müller-Lyer illusion must take into account both a spatial-frequency spectrum of the test image, and the characteristics of band pass filtering in the spatial-frequency channels of the primary divisions of the visual system while the role of higher levels of the visual system is engaged in building an envelope on the basis of the preliminary work of receptive fields of the primary visual cortex.

Keywords: vision, perception, illusion Müller-Lyer, the length of the segments, spatial-frequency filtering, wavelets.



Transliterations of the Russian references

- Bulatov A. N., Bertulis A. V., Mickene L. I.* Kolichestvennyye issledovanija geometricheskikh illjuzij // *Sensornye sistemy*. 1995. T.9. № 2-3. S. 79–93.
- Bulatov A. N., Bertulis A. V., Beljavichus A., Bulatova N.* Illjuzii dliny i ih opisanie na osnove centroidnoj koncepcii // *Sensornye sistemy*. 2009. T.23. № 1.S. 3–12.
- Gregori R. L.* Glaz i mozg: psihologija zritel'nogo vosprijatija. M.: Progress, 1970.
- Medvedev L. N., Shoshina I. I.* Kolichestvennaja ocenka vlijanija pola i tipa mezhpolutusharnoj asimmetrii na iskazhenie zritel'nogo vosprijatija figury Poggendorfa v modifikacii Dzhastrou // *Fiziologija cheloveka*. 2004. T.30. № 5. S. 5–11.
- Ogniov V. V., Rozhkova G. I., Tokareva V. S., Bastakov V. A.* Srednjaja velichina i variabel'nost' illjuzii Mjullera-Lajera v sravnenii s glazomerom u detej i vzroslyh // *Sensornye sistemy*. 2006. T.20. № 4. S. 288–299.
- Shelepin Ju. E.* Lokalizacija oblastej zritel'noj kory koshki, dajuwih invariantnyj otvet pri izmenenii razmera izobrazhenija // *Nejrofiziologija*. 1973. T.5. № 2. S. 115–121.
- Shelepin Ju. E.* Fil'tracionnye svojstva receptivnyh polej neyronov zritel'noj kory // *Doklady AN SSSR*. 1981. T.261. № 6. S. 1506–1509.
- Shelepin Ju. E.* Prostranstvenno-chastotnye harakteristiki receptivnyh polej neyronov lateral'noj suprasil'vievoj oblasti // *Nejrofiziologija*. 1982. T. 14. № 6. S. 608–614.
- Shelepin Ju. E.* Sopotavlenie topograficheskikh i prostranstvenno-chastotnyh harakteristik lateral'noj suprasil'vievoj i striarnoj kory koshki // *Nejrofiziologija*. 1984. T. 16. № 1. S. 35–41.
- Shelepin Ju. E., Kolesnikova L. N., Levkovich Ju. I.* Vizokontastometrija (Izmerenie prostranstvennyh peredatochnykh funkcij zritel'noj sistemy). L.: Nauka, 1985.
- Shelepin Ju. E., Makulov V. B., Krasil'nikov N. N., Chihman V. N., Pronin S. V., Danilichev V. F., Koskin S. A.* Ikonika i metody ocenki funkcional'nyh vozmozhnostej zritel'noj sistemy // *Sensornye sistemy*. 1998. № 3. S. 319–328.
- Shelepin Ju. E., Fokin V. A., Harauzov A. K., Pronin S. V., Chihman V. N.* Lokalizacija centra prinjatija reshenij pri vosprijatii formy zritel'nyh stimulov // *Doklady Akademii nauk*. 2009. T. 429. № 6. S. 835–837.
- Shelepin Ju. E., Chihman V. N., Chihman A. V.* Informativnye priznaki vern'ernykh stimulov // *Sensornye sistemy*. 1998. T.2. S. 210–220.
- Shelepin Ju. E., Chihman V. N.* Lokal'nyj i global'nyj analiz v zritel'noj sisteme // *Sovremennaja psihofizika / Pod red. V. A. Barabanwikova*. 2009. Glava 15. S. 310–335.
- Shelepin Ju. E., Chihman V. N., Foreman N.* Analiz issledovanij vosprijatija fragmentirovannyh izobrazhenij: celostnoe vosprijatie i vosprijatie po lokal'nykh priznakam // *Fiziologicheskij zhurnal*. 2008. T.94. № 7. S. 758–776.
- Jarbus A. L.* Rol' dvizhenij glaz v processe zrenija. M.: Nauka, 1965.