

УДК 159.93; 159.9.072; 612.8; 612.821; 004.85; 004.93'12; 004.932; 007.51

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ МОНОХРОМНЫХ РИСУНКОВ ПСИХИЧЕСКИ ЗДОРОВЫХ И БОЛЬНЫХ ШИЗОФРЕНИЕЙ ЛЮДЕЙ

© 2015 г. С. В. Пронин; И. И. Шошина, доктор биол. наук;
Ю. Е. Шелепин, доктор мед. наук

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

E-mail: yshelepin@yandex.ru

В работе представлены результаты сравнительного компьютерного анализа монохромных рисунков психически здоровых и больных шизофренией испытуемых. В каждом из рисунков выделялись контуры изображения, после чего рассчитывались следующие характеристики: суммарная длина всех контуров изображения, средний размер изображения и отношение суммарной длины контуров к среднему размеру. Также вычислялись пространственно-частотные спектры изображений. Установлено, что средний размер рисунков и относительная длина контуров в рисунках больных шизофренией достоверно меньше, чем у здоровых испытуемых, т.е. рисунки больных шизофренией менее детализированные. Кроме того, для этих рисунков характерен некоторый подъем спектра в области средних пространственных частот. Как показал вычислительный эксперимент, на основе анализа 20 произвольно выбранных рисунков больных шизофренией положительный диагноз может быть поставлен в 92% всех случаев. При анализе такой же выборки рисунков здоровых испытуемых вероятность ошибочного диагноза составила 6,5%. Полученные данные рассматриваются как свидетельства дисфункции при шизофрении магноклеточной системы, обеспечивающей глобальный анализ изображений, и повышения уровня внутреннего шума зрительной системы.

Ключевые слова: анализ изображений, шизофрения, диагностика, пространственно-частотный подход.

Коды OCIS: 070.2615, 110.2960, 170.5380, 330.6110, 330.5370, 330.7323.

Поступила в редакцию 07.05.2015.

Введение

Способность мозга к созданию объективной картины окружающего мира, необходимой для адаптивного поведения, часто бывает нарушена при различных патологических состояниях, в первую очередь при психопатологии. На сегодняшний момент совсем немного известно о том, как лица с психическим заболеванием воспринимают мир. Широко известна гипотеза, что структурно-функциональная организация зрительной системы эволюционно приспособлена и согласована со статистическими свойствами естественной визуальной среды [1]. Произведения искусства, а также обычные простые рисунки являются отражением окружающей среды, поэтому можно ожидать, что основные статистические характеристики таких изображений будут близки к таковым для естественных сцен [2]. Поэтому анализ статистических характеристик про-

изведений искусства и рисунков лиц с психическими заболеваниями может быть использован для исследования дефектов зрительного восприятия, в частности при шизофрении. Данные многочисленных исследований свидетельствуют о дефиците контрастной чувствительности при шизофрении [3–11]. В целом больные шизофренией демонстрируют снижение контрастной чувствительности в диапазоне низких пространственных частот [8–11], к которым наиболее чувствительны нейроны магноклеточнородной системы, обеспечивающей глобальный анализ изображений сцен [6, 12–17]. Взаимодействие механизмов глобального и локального анализа изображений сцен обеспечивает целостность восприятия и его объективность. Логично предположить, что дисфункция одного или обоих механизмов при шизофрении приводит к изменению статистических характеристик рисунков, представляющих собой продукт деятельности мозга.

Цель настоящей работы – продемонстрировать подход к исследованию нарушений зрительного восприятия при шизофрении путем компьютерного анализа монохромных рисунков психически здоровых испытуемых и больных шизофренией людей.

Объекты и методы исследования

В исследовании приняли участие 81 психически здоровый испытуемый (34 ± 12 лет) и 77 пациентов (38 ± 13 лет) психоневрологического диспансера с диагнозом F20.0 по классификации МКБ-10 – параноидная шизофрения. Все пациенты находились в стабильном состоянии. Задача каждого испытуемого состояла в том, чтобы нарисовать на одном листе бумаги лицо человека, на втором листе – человека полностью. Все рисунки были выполнены с помощью маркера черного цвета, с одним и тем же размером грифеля, на листе бумаги одного и того же размера (0,5 формата А4). Время рисования было неограниченным. Полученные рисунки были отсканированы, размер области сканирования каждого рисунка составил 5100×3500 пикселов. Для того чтобы исключить из изображений малоконтрастные детали, не связанные с рисунком (элементы текстуры бумаги, пятна и т.п.), после сканирования изображения были бинаризованы. Края контуров в бинаризованных изображениях содержат мелкие неровности, которые при обработке изображений могут привести к завышенным значениям длин контуров. Для устранения этих неровностей каждое изображение было уменьшено до размера в 512×351 пикселов с помощью алгоритма масштабирования, использующего фильтр Ланцюша [18]. Затем в каждом изображении были выделены границы темных областей (штрихов и областей со сплошной закраской) (рис. 1). Для поиска границ использовался алгоритм, сходный с известным алгоритмом Канни [19]. Так как в обрабатываемых изображениях отсутствовала какая-либо шумовая составляющая, предварительная свертка изображения с гауссовым ядром, обычно используемая в алгоритмах выделения краев для подавления высокочастотных шумов, в нашем случае не использовалась. Пороги T_1 и T_2 для градиентов, используемые в алгоритме Канни, были выбраны равными $0,02G_{\max}$ и $0,01G_{\max}$, где G_{\max} – максимальное значение градиента яркости в обрабатываемом изображении. Контуры, выделенные в изобра-



Рис. 1. Демонстрация выделения контуров (границ темных областей) изображений.

жении, представляли собой цепочки точек с шагом 1 пиксел.

Затем для каждого изображения вычислялись следующие параметры: суммарная длина всех контурных цепочек в изображении в пикселях, средний размер изображения в пикселях, а также отношение суммарной длины цепочек к среднему размеру. Для вычисления среднего размера контурного изображения D сначала рассчитывались координаты его центроида (путем усреднения координат точек всех контуров по осям X и Y), а затем вычислялось среднее расстояние точек контуров от этого центроида, равное

$$D = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2},$$

где N – общее число точек в контурах, x_0 , y_0 – координаты центроида, x_i, y_i – координаты i -й точки контура.

Для каждой из характеристик строились гистограммы распределения, а также рассчитывались средние значения.

В качестве пространственно-частотной характеристики использовался угол наклона амплитудного спектра изображения в логарифмической системе координат. Так как исходный спектр изображения – двумерный, перед вычислением наклона его преобразовывали в одномерный путем усреднения сечений, ориентации которых охватывали угол 360° (с шагом 1°). Затем полученное усредненное сечение спектра аппроксимировалось прямой линией по методу наименьших квадратов и вычислялся тангенс угла между этой линией и осью абсцисс. Значение тангенса угла служило характеристикой степени наклона спектра.

Результаты и их обсуждение

Среднее значение длины контуров в рисунках здоровых испытуемых составило $(4,6 \pm 2,9) \times 10^3$ пикселя, у больных шизофренией – $(3,1 \pm 2,0) \times 10^3$ пикселя, т.е. разница в 1,5 раза. Наглядным свидетельством зафиксированных различий является разница в распределениях длин контуров в рисунках больных шизофренией и психически здоровых испытуемых (рис. 2). Гистограмма распределения длин контуров в рисунках больных шизофренией заметно сдвинута в сторону меньших значений длин.

Разница в длинах контуров может отражать как разницу в средних размерах рисунков, так и различие в количестве деталей. Чтобы оценить вклад этих двух факторов, были рассчитаны распределения и средние значения размеров рисунков (рис. 3), а также относительные дли-

ны контуров – т.е. отношения длин контуров к размерам рисунков (рис. 4). Последний параметр позволяет грубо оценить степень детализации рисунков независимо от их размеров.

Средний размер рисунков в группе здоровых испытуемых составил 182 ± 51 пикселя, у больных шизофренией – 159 ± 66 пикселов, т.е. разница в 1,15 раза (рис. 3).

Средняя величина относительной длины контуров в рисунках здоровых испытуемых составила $23,9 \pm 9,0$, в рисунках больных шизофренией – $17,8 \pm 6,0$, т.е. разница в 1,34 раза. Гистограммы распределения относительных длин контуров в рисунках больных шизофренией смещены в сторону меньших значений (рис. 4), так же, как и распределение длин контуров. Соответственно, рисунки больных шизофренией отличаются от рисунков психически здоровых испытуемых менее выраженной детализацией. Пониженная детализация рисунков больных шизофренией по сравнению с рисунками психически здоровых испытуемых, вероятно, является результатом дисфункции магноцеллюлярной системы, обеспечивающей глобальное описание зрительного поля.

Результаты применения пространственно-частотного (спектрального) подхода к анализу рисунков психически здоровых испытуемых и больных шизофренией свидетельствуют о различиях спектральных характеристик рисунков сравниваемых групп. Для рисунков здоровых испытуемых среднее значение тангенса угла наклона спектра составило $-1,23$, для рисунков больных шизофренией оно равнялось $-1,30$. То есть тангенс угла наклона спектра рисунков

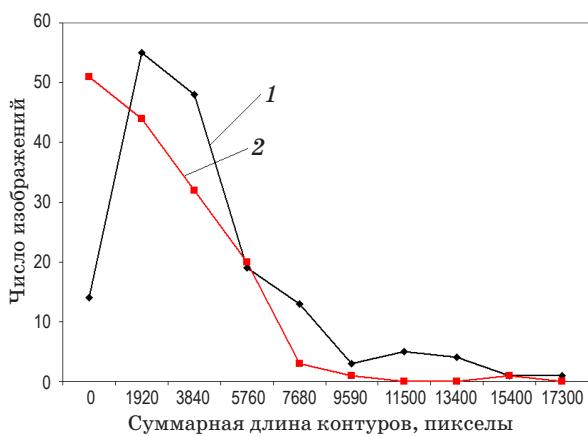


Рис. 2. Распределение длин контуров в рисунках больных шизофренией (2) и здоровых (1) испытуемых.

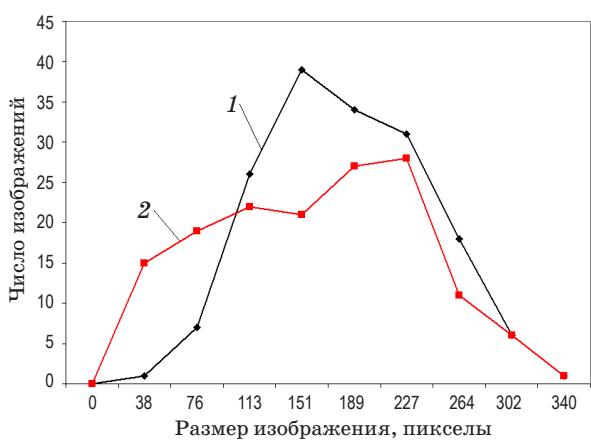


Рис. 3. Распределение размеров рисунков для больных шизофренией (2) и здоровых (1) испытуемых.

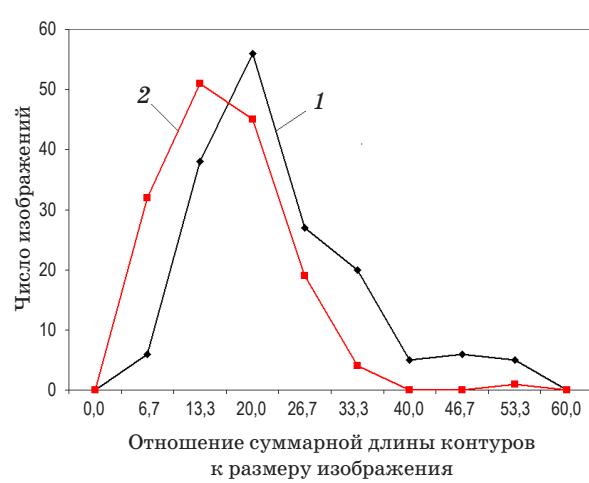


Рис. 4. Распределение относительных длин контуров на рисунках больных шизофренией (2) и здоровых (1) испытуемых.

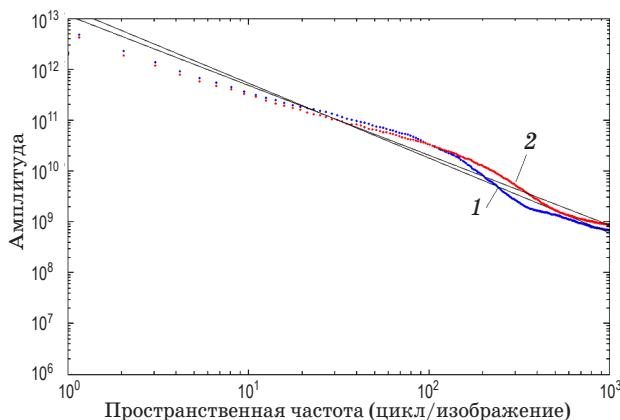


Рис. 5. Усредненные спектры рисунков здоровых испытуемых (1) и больных шизофренией (2).

здоровых испытуемых достоверно меньше, чем у больных шизофренией (рис. 5). Для рисунков больных шизофренией было также характерно усиление амплитудного спектра изображений в диапазоне средних пространственных частот. В связи с этим представляют интерес результаты работы [20], в которой описывались пространственно-частотные характеристики сцен, вызывающих у людей чувство тревоги. Эти изображения также имели подъем в середине пространственно-частотного диапазона.

Исходя из результатов выполненных нами ранее исследований [7–11], полученные данные могут рассматриваться как свидетельства дисфункции при шизофрении магноклеточной системы, обеспечивающей глобальный анализ изображений сцен, и повышения уровня внутреннего шума зрительной системы.

Преимущество использованного нами метода анализа монохромных рисунков, по сравнению с подобным подходом к анализу картин [21], выполненных художниками, страдающими шизофренией, состоит в том, что условия исследования максимально унифицированные. Исключено влияние на статистические характеристики рисунков различий в технике рисования, изображаемых сцен, используемого инструмента для рисования, а также размера области рисования.

Возникает вопрос – можно ли использовать эту разницу в характеристиках рисунков в целях диагностики? Среднее значение суммарной длины контуров в рисунках здоровых испытуе-

мых равно 4636 пикселам. Можно выбрать пороговое значение для длины контура, скажем, 3709 пикселов, и считать, что если средняя длина контуров в наборе рисунков испытуемого ниже этого порога, то можно сделать заключение о возможности заболевания.

Для проверки этого предположения был проведен следующий вычислительный эксперимент. Из исходного набора рисунков для данной группы испытуемых (больных или здоровых) в случайном порядке выбирались 10 рисунков. Для них вычислялось среднее по выборке значение длины контура, которое сравнивалось с порогом в 3709 пикселов. Если среднее значение длины контура было ниже этого порога, ставился положительный “диагноз”. Эксперимент был повторен 10000 раз. Если выборка была взята из рисунков больных испытуемых, положительный “диагноз” был поставлен в 85% всех случаев. Такой же анализ выборок из рисунков здоровых испытуемых показал вероятность ошибочного диагноза в 15% случаев. Если увеличить объем выборки с 10 до 20 рисунков, вероятность правильного диагноза увеличивается до 92,0%, ошибочного – снижается до 6,5%.

Следует отметить, что данные результаты нельзя считать готовым методом для диагностики. Необходимо учитывать, что описанные в статье изменения в характере рисунков могут быть специфичны не только для шизофрении. Кроме того, не исключено, что такие изменения рисунков не будут наблюдаться на ранних стадиях болезни.

Заключение

Рассмотренный в данном исследовании подход к анализу монохромных рисунков показал, что рисунки больных шизофренией менее детализированные, чем рисунки психически здоровых испытуемых, и имеют подъем спектра в области средних пространственных частот. Полученные данные рассматриваются как свидетельства дисфункции при шизофрении магноклеточной системы, обеспечивающей глобальный анализ изображений, и повышения уровня внутреннего шума зрительной системы.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, грант 14-15-00918.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. *Simoncelli E.P., Olshausen B.A.* Natural image statistics and neural representation // Annual Review of Neuroscience. 2001. V. 24. P. 1193–1216.
2. *Graham D.J., Redies C.* Statistical regularities in art: Relations with visual coding and perception // Vision Research. 2010. V. 50. P. 1503–1509.
3. *Butler P.D., Silverstein S.M., Dakin S.C.* Visual perception and its impairment in schizophrenia // Biological Psychiatry. 2008. V. 64. P. 40–47.
4. *Butler P.D., Chen Y., Ford J.M., Geyer M.A., Silverstein S.M., Green M.F.* Perceptual measurement in schizophrenia: promising electrophysiology and neuroimaging paradigms from CNTRICS // Schizophrenia Bulletin. 2012. V. 38. P. 81–91.
5. *Keri S.* The magnocellular pathway and schizophrenia // Vision Research. 2008. V. 48. P. 1181–1182.
6. *Calderone D.J., Hoptman M.J., Martinez A., Nair-Collins S., Mauro C.J., Bar M., Javitt D.C., Butler P.D.* Contributions of low and high spatial frequency processing to impaired object recognition circuitry in schizophrenia // Cereb. Cortex. 2013. V. 23. P. 1849–1858.
7. *Шошина И.И., Шелепин Ю.Е., Конкина С.А., Пронин С.В., Бендер А.П.* Исследование парвоцеллюлярных и магноцеллюлярных зрительных каналов в норме и при психопатологии // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2012. Т. 98. № 5. С. 657–664.
8. *Шошина И.И., Шелепин Ю.Е.* Контрастная чувствительность у больных шизофренией с разной длительностью заболевания // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99. № 8. С. 928–936.
9. *Шошина И.И., Шелепин Ю.Е., Вершинина Е.А., Новикова К.О.* Функциональные особенности магноцеллюлярной и парвоцеллюлярной систем при шизофрении // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Психология». 2014а. Т. 27. № 4. С. 10–16.
10. *Шошина И.И., Шелепин Ю.Е., Новикова К.О.* Исследование остроты зрения в условиях помехи у психически здоровых и больных шизофренией // Офтальмологический журнал (Украина). 2014б. № 4. С. 71–79.
11. *Шошина И.И., Шелепин Ю.Е., Вершинина Е.А., Новикова К.О.* Пространственно-частотная характеристика зрительной системы при шизофрении // Физиология человека. 2015. Т. 41. № 3. С. 251–260.
12. *Шелепин Ю.Е.* Локальный и глобальный анализ в зрительной системе // Современная психофизика / Под ред. Барабанщикова В.А. М.: Институт психологии РАН, 2009. С. 310–335.
13. *Braddick O., Birtles D., Mills S., Warshafsky J., Wattam-Bell J., Atkinson J.* Brain responses to global perceptual coherence // Journal of Vision. 2006. V. 6. P. 426–435.
14. *Braddick O., Atkinson J.* Development of brain mechanisms for visual global processing and object segmentation // Progress in Brain Research. 2007. V. 164. P. 151–168.
15. *Shelepin Y.E., Chikhman V.N., Foreman N.* Analysis of the studies of the perception of fragmented images: global description and perception using local features // Neurosci. Behav. Physiol. 2009. V. 39. P. 569–580.
16. *Swettenham J.B., Anderson S.J., Thai N.J.* MEG responses to the perception of global structure within glass patterns // PLoS One. 2010. V. 5(11). P. 1–9.
17. *Conci M., Tollner T., Leszczynski M., Muller H.J.* The time-course of global and local attentional guidance in Kanizsa-figure detection // Neuropsychologia. 2011. V. 49. P. 2456–2464.
18. *Burger W., Burge M.J.* Principles of digital image processing: core algorithms // Springer. 2009. P. 231–232.
19. *Canny J.* A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 1986. V. 8. № 6. P. 679–698.
20. *Huang J., Zong X., Wilkins A.J.* fMRI evidence that precision ophthalmic tints reduce cortical hyperactivation in migraine // Cephalalgia Journal. 2011. V. 31(8). P. 925–936.
21. *Graham D., Meng M.* Altered spatial frequency content in paintings by artists with schizophrenia // i-Perception. 2011. V. 2. P. 1–9.