

УДК 617.751–072.7:616.895.8:616–008.28

Исследование остроты зрения в условиях помехи у психически здоровых и больных шизофренией

И. И. Шошина^{1,2}, Ю. Е. Шелепин², К. О. Новикова¹

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск (Россия)

²Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, Санкт-Петербург (Россия)

E-mail: shoshinaii@mail.ru,
yshelpepin@yandex.ru

Ключевые слова: острота зрения, внутренний шум, шизофрения, помехоустойчивость.

Ключові слова: гострота зору, внутрішній шум, шизофренія, завадостійкість.

Мета цього дослідження запропонувати і апробувати метод оцінки зорових функцій при психопатології, отримати з його допомогою додаткові свідчення підвищення рівня внутрішнього шуму при шизофренії.

Матеріал і методи. В дослідженні брали участь 41 умовно психічно здорових осіб і 56 пацієнтів Красноярського крайового психоневрологічного диспансеру з діагнозом параноїдна шизофренія. Реєстрували ймовірність правильної відповіді при пред'явленні оптотипів без шуму і з накладенням шуму різної якості і кількості. Використовували шум двох видів: фіксований, при якому розмір елементарної перешкоди становив 4 x 4 пікселя, і процентний, при якому розмір елементарної перешкоди дорівнював 25 % від величини розриву кільця. Спостереження здійснювали бінокулярно. Гострота зору всіх випробовуваних, які брали участь у дослідженні, була нормальною або скоригованою до норми.

Результати. Найбільш виражене зниження завадостійкості у пацієнтів, що страждають на шизофренію, у порівнянні з умовно психічно здоровим контролем, зафіксовано при пред'явленні оптотипів з накладенням 30 % рівня шуму з розміром елементарної перешкоди в 25 % від величини розриву кільця Ландольта.

Висновок. Результати проведеного дослідження дозволяють зробити висновок про підвищення рівня внутрішнього шуму і відповідно зниження завадостійкості при шизофренії. Як в нормі, так і при шизофренії накладення на зображення стимулу 30 % і 40 % перешкоди призводить до достовірного зниження правильності відповідей, відповідно гостроти зору при розпізнаванні місця розташування розриву кільця Ландольта. З збільшенням зовнішньої перешкоди до 40 % зовнішній шум накладається на внутрішній, сигнал заглушується, і розпізнавання ускладнюється. Тобто внутрішній шум є фундаментальним обмеженням сприйняття.

Investigation of visual acuity in conditions of disturbance in mentally healthy people and patients with schizophrenia

Shoshina I. I.^{1,2}, Shelepin Yu. E.², Novikova K. O.¹

¹The Siberian federal university, Krasnoyarsk (Russia)

²Institute of physiology named after I. P. Pavlov of the Russian Academy of Science, St.-Petersburg (Russia)

Purpose. To approve and propose a method of estimation of visual functions in psychopathology, to receive additional signs of increase in the level of internal noise in schizophrenia with its help.

Material and methods: There were examined 41 conditionally mentally healthy examinees and 56 patients of Krasnoyarsk regional psychoneurological clinic with the diagnosis of paranoid schizophrenia. There was registered probability of the right answer during presentation of optotypes without noise and with imposing noise of different quality and quantity. There was used fixed noise, in which the size of elementary disturbance made 4*4 pixels, and percentage, in which the size of elementary disturbance was equaled 25 % of the size of Landolt's ring break. The follow-up was carried out binocularly. Visual acuity of all examinees was normal or corrected up to norm.

Results. The most expressed reduction in noise stability in the patients, suffering from schizophrenia, in comparison with the controls, is recorded in presentation of optotypes with imposing 30 % of the noise level with the size of elementary disturbance 25 % of size of Landolt's ring break.

Key words. acuity of vision, schizophrenia, internal noise, noise stability.

Введение. Общеизвестно, что многие антипсихотические препараты, используемые в терапии шизофрении, оказывают воздействие на зрительный анализатор. Незначительное количество работ, посвященных поиску нарушения при шизофрении «базисных» зрительных функций — остроты зрения, поля зрения [2, 17], свидетельствует о выраженном влиянии на периферический и проводниковый отдел зрительного анализатора преимущественно высоких доз препаратов. В практике терапии шизофрении по большей части используются средние или низкие дозы антипсихотических препаратов, тем не менее, пациенты сообщают об изменениях зрительного восприятия. Внимание исследователей в настоящее время привлечено к изучению функциональных изменений зрительного анализатора и «высших» зрительных когнитивных функций при шизофрении [3]. Накоплен большой фактический материал о зрительных дисфункциях, однако их мониторинг до сих пор не вошел в практику ведения пациентов, страдающих шизофренией. В связи с этим приобретает актуальность разработка и внедрение офтальмологических методов регистрации функциональных нарушений в работе зрительного анализатора.

Внутренний шум зрительной системы наряду с внешней помехой являются важнейшими факторами, ограничивающими восприятие сигнала в пороговых условиях. Внешняя помеха присутствует всегда, даже если тестовое изображение предъявляется на однородном фоне без специальных добавочных мешающих восприятию фрагментов изображения. Это фотонный шум, величина которого меняется в зависимости от яркости стимула и фона. В пропускной системе зрительного анализатора за выделение полезного сигнала из шума отвечает эффект накопления (суммации) [1]. Эффект накопления обеспечивают накопительные ячейки (рецептивные поля), которые отвечают за оптимизацию отношения сигнал/шум. Чем больше накопительных ячеек задействовано, тем сильнее идет различение сигнала из шума и тем выше острота зрения. Чтобы улучшить отношение сигнал/шум, рецептивные поля для ночного зрения (палочковые) имеют большие размеры, в которых легче осуществить накопление сигнала, хотя при этом происходит потеря разрешающей способности.

Conclusion. Results of the carried out study allow to make a conclusion of increase of the level of internal noise and accordingly of reduction in noise stability in schizophrenia. Both in the norm and in schizophrenia imposing of stimulus of 30 % and 40 % of disturbance on the image leads to reliable reduction in correctness of answers, accordingly to visual acuity in recognition of the site of Landolt's ring break. In increase in the external disturbance up to 40 % external noise is imposed on the internal one, the signal is muffled and recognition becomes difficult. That is internal noise is fundamental restriction of perception.

Помимо внешнего шума, фактором, ограничивающим восприятие, является шум внутренний. Внутренний шум — это собирательное понятие, так как имеются различные его источники: тепловой шум, самопроизвольный распад зрительного пигмента в рецепторах, спонтанная активность сенсорных нейронов различных уровней. Ярким примером внутреннего шума является внутренний шум сетчатки, проявляющийся в виде кажущихся, слабых, едва различимых в полной темноте вспышек света — фосфенов, которые раньше называли «видимым светом сетчатки». Под таким названием он и был введен Г. Фехнером (Fechner, 1860) и Гельмгольцем в знаменатель основного психофизического закона:

$$K = \Delta L / (L + L_n),$$

где L_n — «видимый свет сетчатки», который по терминологии Фехнера, для здоровых наблюдателей небольшая по численному значению величина. Когда интенсивность стимула (L) достаточно велика, членом (L_n) можно пренебречь, и тогда выражение будет соответствовать исходной формуле психофизического закона Э. Вебера (Weber, 1834):

$$K = \Delta I / I.$$

В соответствии с законом Вебера, минимально различимое изменение интенсивности стимуляции (ΔI) составляет постоянную долю (K) ее исходной интенсивности (I). Таким образом, без представлений о внутреннем шуме понять принципы восприятия невозможно.

Измерения внутреннего шума осуществляют косвенно как эквивалентного. На вход зрительной системы подают сигнал, например решетки разной пространственной частоты, к которым добавляют помеху и измеряют контрастную чувствительность [8]. Меняя значение среднеквадратического отклонения или контраста пикселей, образующих помеху, измеряют уровень внутреннего шума как эквивалентного. Обычно используют широкополосную помеху — внешний квазибелый аддитивный шум, отличающийся равномерным распределением спектральной мощности и суммирующийся с полезным сигналом. Уровень внутреннего шума определяет помехоустойчивость зрительной системы, то есть ее способность нормально функционировать

при наличии помех [5, 7–9, 15–16, 24–25, 30–31]. Чем меньше отличается выходной сигнал от входного сигнала при наличии тех или иных помех, тем большей помехоустойчивостью обладает система. Помехоустойчивость является важной характеристикой зрительных каналов [1, 6–7, 10]. Показано, что внутренний шум определяет характерную форму кривой контрастно-частотной чувствительности, отражающей функциональное состояние каналов [8, 12, 15]. Снижение контрастной чувствительности при патологии, в частности, у пациентов с ранней стадией рассеянного склероза, обусловлено возрастанием внутреннего шума [13–15]. Эта аналогия подтверждает справедливость расчета внутреннего шума как эквивалентного (добавлению внешней помехи разного значения). Уровень внутреннего шума у пациентов отражает их состояние [13].

Представляет интерес потенциальная роль зрительных функций в диагностике и прогнозировании болезни; степень, в которой некоторые нарушения зрительного восприятия диагностически специфичны для шизофрении, и возможность показателей зрительных функций служить в качестве биомаркеров шизофрении, предикторов рецидива и восстановления, прогностических критериев влияния терапии, в том числе фармакологической.

Результаты наших исследований функционального состояния зрительных каналов у лиц, страдающих шизофренией, свидетельствуют о нарушениях зрительного восприятия, в том числе о повышении уровня внутреннего шума зрительной системы при данной психопатологии [21–23]. Возрастающее количество свидетельств о функциональных зрительных дисфункциях при шизофрении [32] выводит на первый план необходимость разработки тестов, позволяющих осуществлять мониторинг зрительных функций, используя их в качестве прогностических критериев влияния терапии, в том числе фармакологической.

Цель настоящего исследования апробировать и предложить метод оценки зрительных функций при психопатологии, получить с его помощью дополнительные свидетельства повышения уровня внутреннего шума при шизофрении.

Материал и методы

В исследовании участвовали 41 условно психически здоровых испытуемых и 56 пациентов Красноярского краевого психоневрологического диспансера (8 мужчин) с диагнозом параноидная шизофрения. Среди пациентов, страдающих шизофренией, 22 пациента наблюдались амбулаторно и получали поддерживающее лечение низкими и средними дозами соответствующих препаратов, 34 пациента (все женщины) проходили курс лечения в стационаре и уже находились в относительно стабильном состоянии, готовились к выписке. Пациенты, наблюдавшиеся амбулаторно, находились в разной стадии ремиссии. Средний возраст контрольной

группы (условно психически здоровых испытуемых) составил $(36,0 \pm 12,4)$ лет, пациентов, страдающих шизофренией, — $(36,2 \pm 10,7)$ лет.

Группа пациентов, наблюдавшихся амбулаторно, состояла из 22 человек, из них 8 мужчин. Общей клинической чертой пациентов являлось наличие в различной степени выраженных негативных симптомов при отсутствии явной продуктивной симптоматики и без сопутствующей органической патологии. Средний возраст пациентов, наблюдавшихся амбулаторно, составил $(40,7 \pm 9,9)$ лет, длительность болезни — $(9,7 \pm 5,8)$ лет. Пациенты получали низкие и средние дозы нейролептиков: 26,3 % пациентов принимали галоперидол, 15,8 % — оланзапин, вальдоксан и респиридон — 10,5 %, клопиксол принимали 5,3 % пациентов, такое же количество человек принимали модитен, просульпин, азолептин, солиан, хлопротиксен, санонакс, китепт и аминозин.

Группа пациентов, получавших лечение в стационаре, состояла из пациентов с первым психотическим эпизодом (10 человек) и хронически больных шизофренией — 24 человека. Средний возраст пациентов с первым психотическим эпизодом составил — $(34,8 \pm 9,5)$ лет, длительно болеющих — $(38,5 \pm 10,4)$ лет. Средняя продолжительность болезни в первой группе — $(1,1 \pm 0,6)$ лет, во второй группе — $(13,2 \pm 7,1)$ лет.

Среди пациентов с первым психотическим эпизодом на момент обследования 2 человека получали низкие дозы галоперидола и амитриптилина; еще 2 человека — только низкие дозы галоперидола; 1 человек низкие дозы клозастена и аминазина, и 5 человек не получали никакого антипсихотического лечения.

Среди хронически больных шизофренией 28 % пациентов принимали амитриптилин, столько же — галоперидол, 25 % — принимали трифтазин, модитен-депо принимали 16 % пациентов, труксал — 16 %, аминозин — 12 %, клозастен — 12 %, депакин-хроносфера — 12 %, китепт — 12 %, зипрекса — 8 %, вальдоксан — 8 %, дроперидол — 4 %, тизерцин — 4 %, алпрозолам — 4 %, сердолект — 4, серлифт — 4 %, адепресс и рилептид получали также 4 %. Дозы получаемых препаратов варьировали от низких до средних значений.

Исследования проводили в затемненном помещении. Расстояние от монитора до испытуемого составляло 5 метров. Разрешение экрана размером 11 дюймов составляло 1024 x 600 пикселей, частота обновления — 60 Гц. С помощью авторской компьютерной программы на экран монитора выводили белые на черном фоне стилизованные изображения колец Ландольта (оптотипы) разного размера (рис. 1), с величиной разрыва кольца: 4, 8, 12, 16, 20, 28, 36, 60 и 100 пикселей. Задача испытуемого состояла в том, чтобы различить местоположение разрыва кольца (справа, слева, сверху или снизу) без помехи и в условиях помехи (шума). Регистрировали вероятность правильного ответа при предъявлении оптотипов без шума и с наложением шума разного качества и количества. Использовали шум двух видов: фиксированный, при котором размер элементарной помехи составлял 4 x 4 пикселя, и процентный, при котором размер элементарной помехи равнялся 25 % от величины разрыва кольца. Количество накладываемого шума в каждом случае составляло 30 % и 40 %. Количество повторов предъявления оптотипов разного размера равнялось 5. Время рассматривания изображений не ограничивали. Каждый испытуемый проходил пробное тестирование, чтобы убедиться в том, что он понял поставленную перед ним

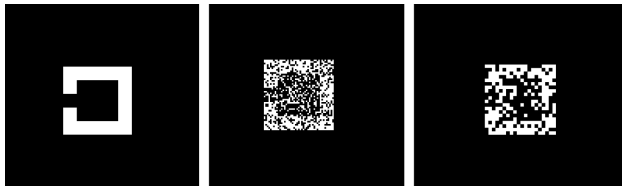


Рис. 1. Стилизованное кольцо Ландольта без шума и с наложением шума разного качества.

задачу. Чтобы снизить сложность задачи и свести к минимуму возможные ошибки, нажатие кнопки, соответствующей ответу испытуемого, выполнял исследователь. Наблюдение осуществляли бинокулярно. Острота зрения всех испытуемых, участвовавших в исследовании, была нормальной или скорректированной до нормы. Условия проведения исследований соответствовали Хельсинкской декларации всемирной медицинской ассоциации.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью критерия Манна-Уитни пакета статистических программ SPSS-13.

Результаты

В ходе исследования установлено, что в условиях отсутствия шума (помехи) средний показатель вероятности правильного ответа при различении местоположения разрыва кольца Ландольта в контрольной группе равен $0,91 \pm 0,23$, у пациентов, страдающих шизофренией, — $0,87 \pm 0,29$. Достоверность различий $p=0,1$, что позволяет говорить об отсутствии различий при восприятии оптоотипов без добавления шума (рис. 2). Следует отметить, что при предъявлении оптоотипов без помехи, при величине разрыва кольца 4 пикселя (самый маленький оптотип), вероятность правильного ответа была невысо-

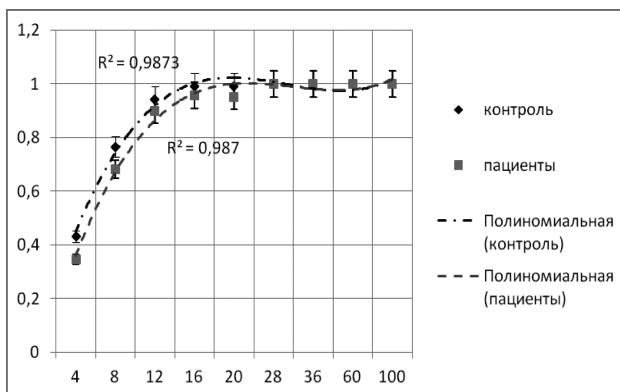


Рис. 2. Зависимость вероятностей правильных ответов испытуемых от размера разрыва кольца Ландольта без предъявления помехи.

Здесь и далее на рисунках 3–6: по оси абсцисс — ширина разрыва кольца в пикселях; по оси ординат — вероятность правильного ответа. Графические линии — полиномиальные линии аппроксимации (линии тренда). R^2 — достоверность аппроксимации. Вертикальные линии у каждой точки — планки погрешностей с относительными ошибками.

кой как в группе контроля — 0,43, так и у пациентов — 0,35. При предъявлении больших оптоотипов и соответственно больших по размеру разрывов кольца, вероятность правильного ответа увеличивалась, приближаясь к 1,0. Резкое повышение вероятности правильных ответов наблюдалось при увеличении размера оптоотипов, и соответственно, величины разрыва кольца, от 4 до 12 пикселей. При размерах разрыва кольца от 12 до 100 пикселей вероятность правильного ответа оставалась на одном и том же уровне в обеих группах испытуемых. Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии различий в остроте зрения у испытуемых контрольной группы и пациентов, страдающих шизофренией.

При наложении помехи распознавание оптоотипов всех размеров ухудшалось. При этом играло роль качество помехи.

При использовании 30 % уровня внешнего шума с размером элементарной помехи в 25 % от величины разрыва кольца установлено следующее (рис. 3). Средний показатель вероятности правильного ответа в группе контроля составил $0,71 \pm 0,29$, тогда как у пациентов, страдающих шизофренией, — $0,59 \pm 0,28$. В обеих группах наблюдалось резкое повышение вероятности правильных ответов при увеличении размеров разрыва кольца от малых до средних величин — от 4 до 12–16 пикселей ($p=0,0006$). Однако у пациентов, страдающих шизофренией, успешность опознания была достоверно ниже, чем в группе контроля при средних и больших размерах разрыва кольца — 12 пикселей ($p=0,01$), 20 ($p=0,01$), 28 ($p=0,04$), 36 ($p=0,001$) и 60 пикселей ($p=0,005$). Следует отметить, что у пациентов, страдающих шизофренией, успешность опознания нарастала только при увеличении размеров разрыва до 16 пикселей, после чего практически не изменялась ($p=0,3$), тогда как в группе контроля продолжала возрастать ($p=0,01$).

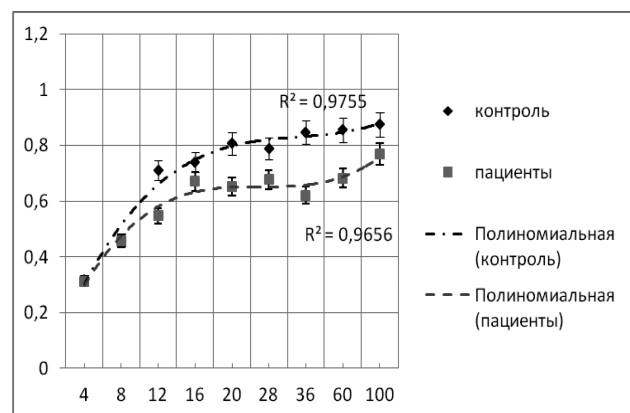


Рис. 3. Зависимость вероятностей правильных ответов испытуемых от размера разрыва кольца Ландольта при добавлении шума в количестве 30 % с размером элементарной помехи 25 % от величины разрыва кольца.

Увеличение количества внешнего шума с таким же размером элементарной помехи до 40 % привело к резкому снижению вероятности правильного ответа в обеих группах испытуемых ($p < 0,0001$) и изменению хода кривых. В этом случае средний показатель вероятности правильного ответа (помехоустойчивости) в группе контроля составил $0,46 \pm 0,27$, у пациентов, страдающих шизофренией, — $0,42 \pm 0,24$ (рис. 4). При любых размерах опто-типа и соответственно размерах разрыва кольца Ландольта пациенты, страдающие шизофренией, демонстрировали практически такую же вероятность правильного ответа, что и испытуемые группы контроля. Характер кривой зависимости вероятностей правильных ответов испытуемых от размера разрыва кольца Ландольта у обеих групп был однородным как для маленьких, так и для больших по размеру опто-типов. Кроме того, увеличение размера опто-типа и соответственно величины разрыва кольца не приводило к повышению успешности различения местоположения разрыва как в группе контроля, так и у пациентов, страдающих шизофренией ($p > 0,05$).

Изменение качества накладываемого шума оказывало влияние на успешность различения местоположения разрыва кольца Ландольта. Средний показатель вероятности правильного ответа при 30 % уровне шума с фиксированным размером элементарной помехи в группе контроля составил $0,78 \pm 0,29$, у пациентов, страдающих шизофренией, — $0,71 \pm 0,35$ (рис. 5). В этом случае пациенты, страдающие шизофренией, демонстрировали достоверное снижение, по сравнению с контролем, вероятности правильного ответа при ширине разрывов кольца 12 пикселей ($p = 0,007$), 16 ($p = 0,02$) и 20 пикселей ($p = 0,009$). Ход кривых, отражающих изменение успешности опознания с увеличением размеров разрыва кольца, в группе контроля и у

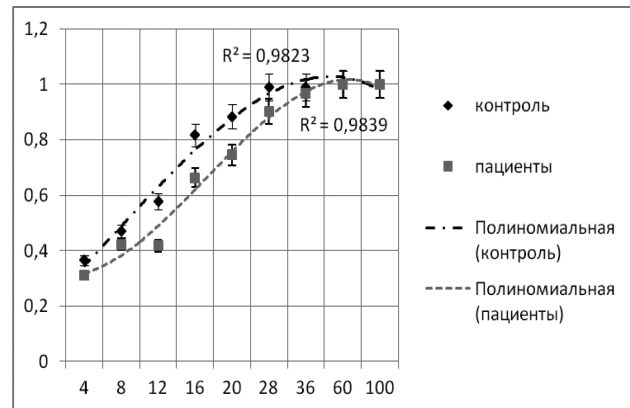


Рис. 5. Зависимость вероятностей правильных ответов испытуемых от размера разрыва кольца Ландольта при наложении 30 % шума с фиксированным размером элементарной помехи.

пациентов с шизофренией не отличался. Обращает внимание, что при использовании 30 % уровня шума с фиксированным размером помехи, по сравнению с размером элементарной помехи в 25 % от величины разрыва кольца, при больших размерах опто-типов вероятность правильных ответов достигала 1,0 в обеих группах.

Увеличение количества внешнего шума такого же качества (с фиксированным размером помехи) до 40 % привело к изменению хода кривых, отражающих изменение успешности опознания с увеличением размеров разрыва кольца (рис. 6). При размерах разрыва от 4 до 20 пикселей в группе контроля и до 28 пикселей у пациентов, страдающих шизофренией, вероятность правильного ответа практически не изменялась. Однако при предъявлении опто-типов большого размера успешность опознания резко увеличивалась, достигая 1,0 у обеих групп испытуемых. Достоверные отличия в успешности

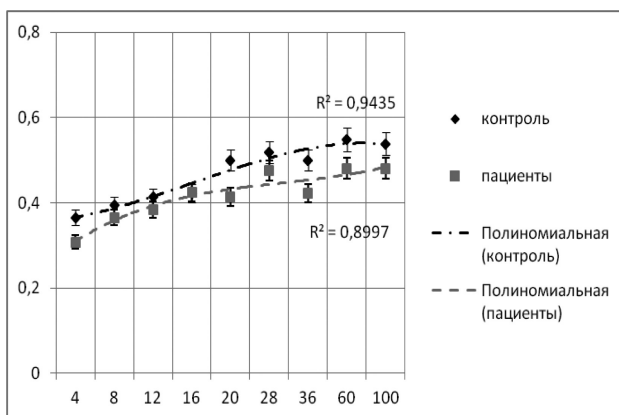


Рис. 4. Зависимость вероятностей правильных ответов испытуемых от размера разрыва кольца Ландольта при добавлении шума в количестве 40 % (б) с размером элементарной помехи 25 % от величины разрыва кольца.

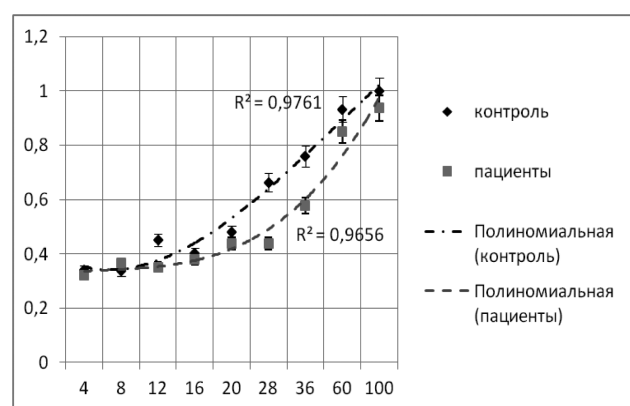


Рис. 6. Зависимость вероятностей правильных ответов испытуемых от размера разрыва кольца Ландольта при наложении 40 % шума с фиксированным размером элементарной помехи.

опознания между группой контроля и пациентами, страдающими шизофренией, наблюдались при размерах разрыва кольца 12 пикселей ($p=0,003$), 28 ($p=0,001$) и 36 пикселей ($p=0,001$). При этом больные шизофренией были менее успешны, чем представители группы контроля. Средний показатель вероятности правильного ответа при 40 % уровне шума с фиксированным размером помехи в группе контроля составил $0,60 \pm 0,32$, у пациентов, страдающих шизофренией, — $0,52 \pm 0,32$.

Таким образом, наиболее выраженное снижение помехоустойчивости у пациентов, страдающих шизофренией, по сравнению с условно психически здоровым контролем, зафиксировано при предъявлении оптотипов с наложением 30 % уровня шума с размером элементарной помехи в 25 % от величины разрыва кольца Ландольта.

Обсуждение

Так как одним из положений разрабатываемой гипотезы о природе функциональных нарушений зрительного восприятия при шизофрении является повышение уровня внутреннего шума в результате рассогласования работы магно- и парвоцеллюлярной систем, было предпринято настоящее исследование.

Результаты его позволяют сделать вывод о повышении уровня внутреннего шума и соответственно снижении помехоустойчивости при шизофрении. Основными механизмами помехоустойчивости можно считать фильтрацию сигнала и конкуренцию отдельных нейронных ансамблей, активированных вследствие анализа параллельной информации. В случае замера остроты зрения возникает шум дискретизации или мультипликативный шум. Снижение величины шума дискретизации обеспечивается как оптической функцией рассеяния, так и в рецептивных полях ганглиозных клеток сетчатки. Рецептивные поля ганглиозных клеток сетчатки уменьшают величину этого шума в области средних пространственных частот, за счет пространственного и временного накопления. Рецептивные поля зрительной коры минимизируют помеху в соответствии с геометрией входного сигнала. Это обеспечивают рецептивные поля нейронов зрительной коры. Нарушение работы рецептивных полей приводит к развитию фильтрационной агнозии, например при нейроофтальмологических заболеваниях. В результате возрастает уровень внутреннего шума.

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что как в норме, так и при шизофрении наложение на изображение стимула 30 % и 40 % помехи приводит к достоверному снижению правильности ответов, соответственно остроте зрения при распознавании местоположения разрыва кольца Ландольта. С увеличением внешней помехи до 40 % внешний шум накладывается на внутрен-

ний [8], сигнал заглушается, и распознавание затрудняется. То есть внутренний шум является фундаментальным ограничением восприятия. В своем исследовании мы не использовали более чем 40 % уровень шума, поскольку данные литературы [12] свидетельствуют о том, что при помехе в 50 % вероятность правильных ответов для бинокулярного зрения соответствует уровню случайного гадания — 0,25.

Наиболее выраженным, по сравнению с нормой, увеличение уровня внутреннего шума у пациентов, страдающих шизофренией, было при наложении 30 % внешнего шума с размером помехи 25 % от величины размера разрыва кольца. Повышение уровня внутреннего шума при шизофрении рассматривается нами как результат рассогласования работы парвоцеллюлярных и магноцеллюлярных каналов обработки информации [20–23]. Помехоустойчивость является важной характеристикой зрительных каналов, чувствительных к разным пространственным частотам [1, 6–7, 10]. Пространственно-частотный спектр шума первого каскада зрительной системы широкополосный. Внутренний шум имеет подъем в области низких и высоких пространственных частот. Эти подъемы имеют разную природу. Контрастный внутренний шум в низко- и среднечастотной областях пространственных частот определяется характеристиками связей между горизонтальными клетками сетчатки. В пространственно высокочастотной области значение внутреннего шума — это практически шум дискретизации изображения, осуществляемый мозаикой фоторецепторов [15]. Созревание горизонтальных связей в течение первых лет жизни позволяет уменьшить значение внутреннего шума в области средних пространственных частот, за счет улучшения накопления в пределах рецептивного поля. Поэтому у детей до семи лет с каждым годом повышается контрастная чувствительность в области средних и высоких пространственных частот и практически не меняется в области низких. Механизм повышения чувствительности в области высоких пространственных частот связан с созреванием фовеолы, появлением мелких рецепторов и более плотной их упаковкой. В результате уменьшается шум дискретизации в высокочастотной области, рецепторы лучше захватывают фотоны. Тем самым, частотно-контрастная характеристика приобретает вид, присущий взрослому человеку.

Настоящее исследование является продолжением исследований, выполненных нашими отечественными учеными еще в 1998–1999 гг. — Р. Е. Данько с соавторами [4, 28–29]. Эти исследования построены на модели согласованной фильтрации в зрительной системе человека, основанной на теории статистических решений [6]. Авторами было установлено, что здоровый человек различает простые фигуры

на фоне случайного шума почти так же, как оптимальный наблюдатель, однако существуют определенные различия. Для описания этих различий Н. Barlow ввел понятие эффективности наблюдения [24–27]. Эффективность является мерой расхождения между экспериментальными результатами, полученными в задаче опознания объектов, и результатами, полученными согласно компьютерной модели идеального наблюдателя.

Литература

1. Глезер В. Д., Цуккерман И. И. Информация и зрение. — М. — Л.: Издательство Академии наук, 1961. — 183 с.
2. Гольдовская И. Л. Психотропная терапия и орган зрения. — М.: Медицина, 1987. — 128 с.
3. Гурович И. Я., Шмуклер А. Б., Зайцева Ю. С. Динамика нейрокогнитивного функционирования больных на начальных этапах развития шизофрении и расстройств шизофренического спектра // Журн. неврологии и психиатрии. — 2012. — Т.112. — № 8. — С. 7–14.
4. Данько Р. Е., Красильников Н. Н., Кузнецов А. В., Литвинцев С. В., Малахов Ю. К., Шелепин Ю. Е. Коэффициент эффективности зрительного восприятия у здоровых наблюдателей и у больных неврозами // Оптический журнал. — 1999. — № 66 (10). — С. 65–67.
5. Дешкович А. А., Шелепин Ю. Е. Измерение уровня внутреннего шума зрительной системы при ее поражении (новый метод в нейроофтальмологии). Боевые повреждения органа зрения. — Изд. Гл. военно-мед. управ. МО РФ и Военно-мед. акад., 2000. — С.84–85.
6. Красильников Н. Н. Влияние шумов на контрастную чувствительность и разрешающую способность приемной телевизионной трубки // Техника телевидения. — 1958. — Т.25. — С. 26–43.
7. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. — М.: Радио и связь, 1986. — 247 с.
8. Красильников Н. Н., Шелепин Ю. Е. Частотно-контрастная характеристика зрительной системы при наличии помех // Физиология человека. — 1996. — № 22 (4). — С.33–38.
9. Красильников Н. Н., Шелепин Ю. Е. Модель формирования частотно-контрастной характеристики зрительной системы в зависимости от освещенности сетчатки // Сенсорные системы. — 1997. — № 11 (3). — С. 333–339.
10. Лытаев С. А., Шостак В. И. Значение эмоциональных процессов у человека в механизмах анализа влияния разноконтрастной стимуляции // Журнал высшей нервной деятельности. — 1993. — № 43(6). — С. 1067–1074.
11. Муравьева С. В., Дешкович А. А., Шелепин Ю. Е. Магно- и парвосистемы человека и избирательные нарушения их работы // Росс. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. — 2008. — № 94 (6). — С.637–649.
12. Муравьева С. В., Шустов Е. Б., Соколов Н. Д. и др. Исследование бинокулярной и монокулярной остроты зрения в условиях помехи // Сб. трудов 9-й Междунар. конф. «Прикладная оптика — 2010». — СПб., 2010. — С. 350–354.
13. Муравьева С. В., Шелепин Ю. Е., Дешкович А. А. Зрительные вызванные потенциалы человека на шахматный паттерн разного контраста в условиях помехи при рассеянном склерозе // Росс. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. — 2004. — Т. 90. — № 4. — С. 463–473.
14. Муравьева С. В., Дешкович А. А., Шелепин Ю. Е. Магно- и парвосистемы человека и избирательные нарушения их работы // Росс. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. — 2008. — Т. 94. — № 6. — С. 637–649.
15. Трифонов М. И., Шелепин Ю. Е., Павлов Н. Н., Шаревич В. Г., Попов А. В. Исследование частотно-контрастной характеристики зрительной системы в условиях помех // Физиология человека. — 1990. — № 16 (2). — С. 41–45.
16. Филд Д. Согласованные фильтры, вейвлеты и статистика натуральных сцен // Оптический журнал. — 1990. — № 66 (9). — С. 25–36.
17. Шамшинова А. М. Изменение органа зрения у больных шизофренией при лечении нейролептиками фенотиазинового ряда / Автореф. канд. дис. — 1972. — 22 с.
18. Шелепин Ю. Е. Пространственно-частотная характеристика и острота зрения зрительной системы человека. — Глава 4 в руководстве «Биофизика сенсорных систем». — Под ред. В. О. Самойлова: СПб., 2007. — С. 63–111.
19. Шелепин Ю. Е., Муравьева С. В., Дешкович А. А. Зрительные вызванные потенциалы человека на шахматный паттерн разного контраста в условиях помехи при рассеянном склерозе // Росс. физиол. журн. — 2004. — № 4. — С. 463–473.
20. Шошина И. И., Шелепин Ю. Е., Конкина С. А., Пронин С. В., Бендера А. П. Исследование парвоцеллюлярных и магноцеллюлярных зрительных каналов в норме и при психопатологии // Росс. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. — 2012. — Т. 98 (5). — С.657–664.
21. Шошина И. И., Шелепин Ю. Е. Контрастная чувствительность у больных шизофренией с разной длительностью заболевания // Росс. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. — 2013. — Т. 99 (8). — С. 657–664.
22. Шошина И. И., Шелепин Ю. Е., Семенова Н. Б., Пронин С. В. Особенности зрительного восприятия у больных шизофренией при терапии атипичными и типичными нейролептиками // Сенсорные системы. — 2013. — Т. 27 (2). — С.144–152.
23. Шошина И. И., Шелепин Ю. Е., Семенова Н. Б. Контрастно-частотная чувствительность у больных шизофренией при терапии атипичными и типич-

- ными нейролептиками // Физиология человека. — 2014. — Т. 40 (1). — С.1–6.
24. **Barlow H.** Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities // *Journal of Physiology*. — 1958. — V. 141. — P.337–350.
 25. **Barlow H.** Measurements of the quantum efficiency of discrimination in human scotopic vision // *J. Physiol.* — 1962. — Vol.160. — P. 169–179.
 26. **Barlow H. B.** A method of determining the overall quantum efficiency of visual discrimination // *J. Physiology*. — 1962a. — Vol.160. — P.155–161.
 27. **Burges A. E., Wagner R. F., Barlow H. B.** Efficiency of human visual signal discrimination // *Science*. — 1981. — V. 214. — P. 93–94.
 28. **Dan'ko R. E., Kuznetsov A. V., Litvintsev S. V., Malakhov Yu. K., Krasilnikov N. N., Shelepin Yu. E.** Efficiency of visual perception in healthy observers and in patients with neuroses // *J. Opt. Technol.* — 1999. — Vol. 66 (10). — P. 896–897.
 29. **Krasil'nikov N. N., Krasil'nikova O. I., Shelepin Yu. E.** Study of the efficiency of the human visual system in recognizing static images // *J. Opt. Technol.* — 2002. — Vol. 69 (6). — P.397–402.
 30. **Pelli D.** The quantum efficiency of vision. — Cambridge University Press, 1990. — P. 3–24.
 31. **Shelepin Y., Krasilnikov N., Krasilnikova O.** What visual perception model is optimal in terms of signal-to-noise ratio? // *SPIE «Medical imaging»*. San-Diego. — 2000. — Vol. 398. — P. 27–35.
 32. **Silverstein S. M., Keane B. P.** Perceptual organization impairment in schizophrenia and associated brain mechanisms: review of research from 2005 to 2010 // *Schizophr. Bull.* — 2011. — Vol.37. — P.690–699.

Послупила 28.05.2014

References

1. **Glezer VD, Tsukkerman.** Information and vision. M. — L.: Izdatelstvo Akademii nauk; 1961. 183 p.
2. **Goldovskaia IL.** Psychotropic therapy and visual organ. M.: Meditsina; 1987. 128 p.
3. **Gurovich IYa, Shmukler AB, Zaitseva YuS.** Dynamics of neurocognitive functioning of patients in the early stages of schizophrenia and schizophrenia spectrum disorders. *Zhurn. Nevrologii i psikiatrii*. 2012;112(8):7–14. Russian.
4. **Danko RE, Krasilnikov NN, Kuznetsov AV, Litvintsev SV, Malakhov YuK, Shelepin YuE.** Efficiency factor of visual perception in healthy observers and patients with neuroses. *Opticheskii zhurnal*. 1999;66(10):65–7. Russian.
5. **Deshkovich AA, Shelepin YuE.** Measuring the level of the internal noise of the visual system in its lesions (new method in neuropathy). Combat damage to the organ of vision. Main Military-Medical Directorate of the Ministry of Defense and Military Medical Academy. 2000. 84–85.
6. **Krasilnikov NN.** Effects of noise on contrast sensitivity and resolution of the television picture tubes. *Tekhnika teledeniia*. 1958;25:26–43. Russian.
7. **Krasilnikov NN.** Theory of image transmission and sensing. M.: Radio i svyaz.; 1986. 247 p.
8. **Krasilnikov NN, Shelepin YuE.** Frequency-contrast characteristics of the visual system in the presence of interference. *Fiziologiya cheloveka*. 1996;22(4):33–8. Russian.
9. **Krasilnikov NN, Shelepin YuE.** Model of the formation of frequency-contrast characteristics of the visual system depending on the retina illumination. *Sensornyye sistemy*. 1997;11(3):333–9.
10. **Lytaiev SA, Shostak VI.** Meaning of emotional processes in humans in analyze mechanisms of the impact of different contrast stimulation. *Zhurnal vysshei nervnoi deiatel'nosti*. 1993;43(6):1067–74. Russian.
11. **Muravieva SV, Deshkovich AA, Shelepin YuE.** Magno and parvosystems of the humans and selective violations of their work. *Ross. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova*. 2008;94(6):637–49. Russian.
12. **Muravieva SV, Shusrov YeB, Sokolov ND et al.** Study of monocular and binocular visual acuity under interference. Proceedings of 9th International conference «Applied optics — 2010». SPb.; 2010.
13. **Muravieva SV, Shelepin YuE, Deshkovich AA.** Visual evoked potentials of human to different contrast chess pattern under interference in multiple sclerosis. *Ross. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova*. 2004;90(4):463–73. Russian.
14. **Muravieva SV, Deshkovich AA, Shelepin YuE.** Magno and parvosystems of the humans and selective violations of their work. *Ross. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova*. 2008;94(6):637–49. Russian.
15. **Trifonov MI, Shelepin YuE, Pavlov NN, Sharevich VG, Popov AV.** Study of frequency-contrast characteristics of the visual system under interference. *Fiziologiya cheloveka*. 1990;16(2):41–5. Russian.
16. **Fild D.** Matched filters, wavelets and the statistics of natural scenes. *Opticheskii zhurnal*. 1990;66(9):25–36. Russian.
17. **Shamshinova AM.** Changing the organ of vision in patients with schizophrenia in the treatment with phenothiazine neuroleptics. Author's thesis. 1972. 22 p.
18. **Shelepin YuE.** Spatial frequency characteristics and visual acuity of human visual system. Chapter 4 in guidance «Biophysics of sensor systems». Samoilov VO, editor. SPb.;2007. 63–111.
19. **Shelepin YuE, Muravieva SV, Deshkovich AA.** Visual evoked potentials of human to different contrast chess pattern under interference in multiple sclerosis. *Ross. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova*. 2004;90(4):463–73. Russian.
20. **Shoshina II, Shelepin YuE, Konkina SA, Pronin SV, Bendera AP.** Study of parvocellular and magnocellular visual channels in normal and psychopathology. *Ross. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova*. 2012;98(5):657–64. Russian.
21. **Shoshina II, Shelepin YuE.** Contrast sensitivity in schizophrenic patients with different duration of the disease. *Ross. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova*. 2013;99(8):657–64. Russian.
22. **Shoshina II, Shelepin YuE, Semenova NB, Pronin SV.** Peculiarities of visual perception in schizophrenia patients in the treatment with atypical and typical neuroleptics. *Sensornyye sistemy*. 2013;27(2): 144–52. Russian.
23. **Shoshina II, Shelepin YuE, Semenova NB.** Contrast-frequency sensitivity in schizophrenia patients in the treatment with atypical and typical neuroleptics. *Fiziologiya cheloveka*. 2014;40(1):1–6. Russian.

24. **Barlow H.** Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities // Journal of Physiology. 1958;141:337–50.
25. **Barlow H.** Measurements of the quantum efficiency of discrimination in human scotopic vision. J. Physiol. 160:169–179. 1962.
26. **Barlow HB.** A method of determining the overall quantum efficiency of visual discrimination. J. Physiology. 160:155–161. 1962a.
27. **Burges AE, Wagner RF, Barlow HB.** Efficiency of human visual signal discrimination. Science. 1981;214: 93–4.
28. **Dan'ko RE, Kuznetsov AV, Litvintsev SV, Malakhov YuK, Krasilnikov NN, Shelepin YuE.** Efficiency of visual perception in healthy observers and in patients with neuroses. J. Opt. Technol. 1999;66(10): 896–7.
29. **Krasil'nikov NN, Krasil'nikova OI, Shelepin YuE.** Study of the efficiency of the human visual system in recognizing static images. J. Opt. Technol. 2002;69(6):397–402.
30. **Pelli D.** The quantum efficiency of vision. Cambridge University Press. 1990. 3–24.
31. **Shelepin Y, Krasilnikov N, Krasilnikova O.** What visual perception model is optimal in terms of signal-to-noise ratio? SPIE «Medical imaging». San-Diego. 2000;398:27–35.
32. **Silverstein SM, Keane BP.** Perceptual organization impairment in schizophrenia and associated brain mechanisms: review of research from 2005 to 2010. Schizophr. Bull 2011; 37: 690–9.

Received 28.05.2014