

© Косикова А.В. и др., 2024

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УДК 612.821 + 616.89

<https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-1-58-67>

Характеристики контрастной чувствительности зрительной системы и микротремора глаз при шизофрении

А.В. Косикова¹, И.И. Шошина¹, С.И. Ляпунов², З.Т. Гусейнова³, И.С. Ляпунов², А.А. Радивилко¹, М.В. Иванов³¹Санкт-Петербургский государственный университет, Институт когнитивных исследований, Санкт-Петербург, Россия²Институт общей физики им. А.М. Прохорова, РАН, Москва, Россия³Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева, Санкт-Петербург, Россия

Автор для корреспонденции: Шошина Ирина Ивановна, shoshinai@mail.ru

Резюме

Обоснование: шизофрения — тяжелое психическое заболевание, для которого характерны не только когнитивные, но и сенсорные нарушения, в том числе зрительной системы. Исследования указывают на нарушение обработки контраста при шизофрении, однако данные о характере этих нарушений носят противоречивый характер. Теория треморного модуляционного сигнала связывает контрастную чувствительность с параметрами микротремора глаз — высокочастотными и малоамплитудными микродвижениями, которые управляются нейронами ядер ствола мозга. Параметры микротремора глаз при психопатологии, в частности шизофрении, в научной литературе не описаны. **Цель исследования:** изучить особенности контрастной чувствительности и микротремора глаз при шизофрении. **Пациенты и методы:** в исследовании приняли участие 30 пациентов с диагнозом параноидной шизофрении. Группу контроля составили 30 человек без психопатологических и неврологических расстройств. Для регистрации контрастной чувствительности использовали метод компьютерной визоконтрастометрии. Предъявляли элементы Габора с пространственной частотой 0.4, 1.0, 3.0 и 10 цикл/град. Микротремор глаз фиксировали бесконтактным методом высокоскоростной видеорегистрации с помощью оригинальной оптической установки. **Результаты:** у пациентов контрастная чувствительность была ниже в области средних и высоких пространственных частот по сравнению с условно здоровым контролем, что может быть связано с хроническим течением болезни. Микротремор глаз у пациентов отличался более низким значением частоты и более высоким — амплитуды по сравнению с группой контроля. **Заключение:** контрастная чувствительность и показатели микротремора глаз могут рассматриваться как потенциальные маркеры для определения функционального состояния при шизофрении, что требует дальнейших исследований и накопления экспериментальных данных.

Ключевые слова: шизофрения, зрительная система, контрастная чувствительность зрительной системы, магноцеллюлярная система, парвоцеллюлярная система, окулярный микротремор, микротремор глаз

Источник финансирования: исследование по регистрации контрастной чувствительности выполнено при поддержке РНФ (проект № 22-18-00074).

Для цитирования: Косикова А.В., Шошина И.И., Ляпунов С.И., Гусейнова З.Т., Ляпунов И.С., Радивилко А.А., Иванов М.В. Характеристики контрастной чувствительности зрительной системы и микротремора глаз при шизофрении. *Психиатрия*. 2024;22(1):58–67. <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-1-58-67>

RESEARCH

UDC 612.821-616.89

<https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-1-58-67>

Characteristics of Visual Contrast Sensitivity and Ocular Microtremor in Schizophrenia

A.V. Kosikova¹, I.I. Shoshina¹, S.I. Lyapunov², Z.T. Guseinova³, I.S. Lyapunov², A.A. Radivilko¹, M.V. Ivanov³¹St. Petersburg State University, Institute for Cognitive Research, St. Petersburg, Russia²Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia³Bekhterev National Medical Research Center of Psychiatry and Neurology, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Irina I. Shoshina, shoshinai@mail.ru

Summary

Background: schizophrenia is a severe mental illness characterized not only by cognitive but also sensory impairments, including the visual system. Research suggests impairments in contrast processing in schizophrenia, but evidence regarding the nature of these impairments is inconsistent. The theory of tremor modulation signal connects contrast sensitivity with the parameters of ocular microtremor — high-frequency and low-amplitude micromovements that are controlled by neurons of the nuclei of the brain stem. The parameters of ocular microtremor in psychopathology, in particular in schizophrenia, have not

been described in the scientific literature. **The aim of the study** was to study the characteristics of contrast sensitivity and microtremor of the eyes of patients with schizophrenia. **Patients and methods:** to register contrast sensitivity, the method of computer visuocontrastometry was used. Gabor elements were presented with spatial frequencies of 0.4, 1.0, 3.0, and 10 cycles/deg. Eye microtremor was recorded using a non-contact high-speed video recording method using an original optical system. The study involved 30 patients diagnosed as paranoid schizophrenia and 30 people without psychopathology and neurological diseases. **Results:** the contrast sensitivity of patients was reduced in the region of medium and high spatial frequencies compared with conditionally healthy controls, which may be associated with the chronic course of the disease. Ocular microtremor in the patient group was characterized by a lower frequency and a higher amplitude compared to the control group. **Conclusions:** contrast sensitivity and ocular microtremor are considered as potential markers for determining the functional state in schizophrenia, which requires further research and accumulation of experimental data.

Keywords: schizophrenia, visual contrast sensitivity, magnocellular system, parvocellular system, ocular micromovements, eye microtremor

Funding: the study with registration of contrast sensitivity was supported by the Russian Science Foundation (project # 22-18-00074).

For citation: Kosikova A.V., Shoshina I.I., Lyapunov S.I., Guseinova Z.T., Lyapunov I.S., Radivilko A.A., Ivanov M.V. Characteristics of Visual Contrast Sensitivity and Ocular Microtremor in Schizophrenia. *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya)*. 2024;22(1):58–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-1-58-67>

ВВЕДЕНИЕ

Шизофрения — тяжелое психическое заболевание, наблюдается примерно у 1% населения, затрудняет жизнь как самих пациентов, так и их родственников, а также оказывает большую финансовую нагрузку на систему здравоохранения [1]. Для шизофрении характерно хроническое течение с рецидивами [2]. Задача разработки методов объективной оценки состояния пациентов, страдающих шизофренией и другими психическими расстройствами, — одна из ключевых в психиатрии [3, 4]. Нарушения зрительного восприятия у больных шизофренией мало исследованы клинически [5–7]. У пациентов с шизофренией наблюдаются зрительные нарушения начиная с самых ранних этапов обработки информации [8–11]. Предполагается, что нарушения низкоуровневых сенсорных механизмов могут оказывать влияние на высокоуровневые когнитивные процессы и приводить к проявлению психотических симптомов, характерных для шизофрении [10, 12, 13].

Изображение, воспринимаемое сетчаткой, представляет собой сложный паттерн изменения интенсивности света, который можно представить в виде синусоидальных колебаний с градуальным распределением светлого и темного [9]. Отношение яркости между светлой и темной фазами паттерна есть контраст. Минимально различимый перепад яркости между светлой и темной фазами паттерна обозначается как пороговый контраст. Величина, обратная пороговому контрасту (1/пороговый контраст), определяется как контрастная чувствительность. Контрастная чувствительность — фундаментальная характеристика зрительного восприятия [14, 15]. Количество перепадов от светлого к темному (синусоидальных циклов) на 1 угловой градус (угл/град) поля зрения несет информацию о пространственной частоте, которая измеряется в циклах на градус (цикл/град). Таким образом, чем больше переходов от светлого к темному приходится на 1 угл/град поля зрения, тем выше пространственная частота, и наоборот [16]. Паттерны, содержащие большое количество перепадов на единицу угла зрения

(от 7 цикл/град), имеют высокую пространственную частоту, малое количество перепадов — низкую пространственную частоту (до 0,5 цикл/град). Паттерны с частотой от 0,6 до 6 цикл/град относят преимущественно к средним пространственным частотам. Контрастная чувствительность отличается при восприятии разных пространственных частот.

Согласно теории пространственно-частотной фильтрации [17, 18] зрительная система представлена нейронными комплексами, чувствительными к восприятию определенного спектра пространственных частот. Подавляющая часть из них представлена мелкоклеточными парвоцеллюлярными и крупноклеточными магноцеллюлярными нейронами латерального коллатерального тела (ЛКТ) таламуса. Магноцеллюлярные нейроны получают информацию от рецепторов преимущественно периферической части сетчатки и передают ее нейронам первичной зрительной коры, так же как и парвоцеллюлярные нейроны, получающие информацию от рецепторов центра сетчатки [19]. На корковом уровне магноцеллюлярные нейроны дают начало преимущественно дорсальному потоку, а парвоцеллюлярные — вентральному потоку, несущим информацию в префронтальные зоны головного мозга [8, 20, 21]. Магноцеллюлярные каналы специфичны к восприятию низких пространственных частот, формируют общее представление об объекте, обеспечивая тем самым глобальный анализ изображения [16, 21]. Парвоцеллюлярные каналы специфичны к восприятию высоких пространственных частот, передают информацию о деталях объекта, обеспечивая локальный анализ изображения [16, 22]. Таким образом, можно говорить о двух нейронных системах восприятия и анализа информации [9].

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о важности согласованного взаимодействия магно- и парвоклеточной систем для обеспечения целостности зрительного восприятия, нарушенного при шизофрении [11, 23]. Однако одни исследования регистрируют у больных шизофренией гипопункцию магноцеллюлярной системы [13,

23, 24], другие — гиперфункцию [25]. В части исследований сообщается о гипофункции парвоцеллюлярных каналов либо о снижении контрастной чувствительности в области всех пространственных частот [9, 23, 26].

Согласно теории треморно-модуляционного сигнала (ТМС) контрастная чувствительность зрительной системы связана с микротреморными колебательными движениями глазного яблока [27–29]. Теория основывается на исследованиях взаимосвязи микротремора глаз — окулярного микротремора (ocular microtremor, ОМТ) — и остроты зрения, падающей при стабилизации изображения относительно сетчатки [30–33]. Треморные колебания глаз имеют среднюю частоту 87 Гц и амплитуду в 20–40 угл/с [34, 35]. Согласно модели ТМС треморные колебания глаз обеспечивают суммацию возбуждения в пределах рецептивных полей при фиксации на деталях объекта. Треморный сигнал может существовать бесконечно долго на границе перепада яркости [27–29]. Такие движения глаз управляются нейронами ствола головного мозга и не поддаются произвольному контролю [36]. По данным исследований, сниженная частота ОМТ по сравнению со здоровым контролем наблюдается у пациентов с рассеянным склерозом [37] и болезнью Паркинсона [38]. Научные публикации о параметрах ОМТ при психопатологических расстройствах не найдены, тогда как нарушение афферентного контроля при шизофрении связывают с изменением состояния ретикулярной активирующей системы [39, 40, 41]. Ствол мозга и ретикулярная формация рассматриваются как один из возможных очагов патогенетических механизмов шизофрении.

Цель исследования — изучение особенностей контрастной чувствительности и микротремора глаз при шизофрении.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 30 пациентов (19 женщин и 11 мужчин, $33,5 \pm 9,6$ года) с диагнозом параноидной шизофрении (F20 по МКБ-10). Среди них у 16 пациентов диагностирован непрерывно-прогредиентный тип течения заболевания, у 14 — приступообразно-прогредиентный. В психическом состоянии больных на момент включения в исследование выявлены следующие синдромы: галлюцинаторно-параноидный — у 11 пациентов, параноидный — у 14, галлюцинаторный — в 2 случаях, аффективно-бредовый — у 2 больных и депрессивно-бредовый в 1 наблюдении. Средняя длительность заболевания составила 11 ± 8 лет (менее 10 лет у 16 пациентов и более 10 лет у 14 пациентов). По результатам диагностической шкалы PANSS средний балл субшкалы продуктивной симптоматики составил $16,8 \pm 3,5$, субшкалы негативной симптоматики — $20,3 \pm 2,7$. У 5 больных оказалось больше баллов по субшкале продуктивной симптоматики (по сравнению с негативной), в 4 наблюдениях суммы баллов по обеим субшкалам были равны,

а 21 пациент набрал больше баллов по субшкале негативных симптомов (по сравнению со шкалой продуктивной симптоматики). Средний общий балл по шкале PANSS составил 74 ± 7 .

В качестве контроля в исследование были включены 30 человек без неврологических и психиатрических заболеваний в анамнезе (18 женщин и 12 мужчин, средний возраст $31 \pm 10,4$ года).

Этические аспекты

Протокол исследования одобрен Этическим комитетом Национального медицинского исследовательского центра психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева (№ ЭК-И-120/19 от 24.10.2019). Все пациенты и участники контрольной группы подписывали информированное согласие на участие в исследовании и могли отказаться от участия в любой момент в процессе исследования. Обследование проводили в соответствии с протоколом, стандартами GCP, Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации 1964 г., пересмотренной в 1975–2013 гг., и нормативными требованиями. Тестирование пациентов выполняли в присутствии врача-психиатра — сотрудника клиники.

Ethical aspects

The study protocol was approved by the ethics committee of Bekhterev National Medical Research Center for Psychiatry and Neurology (# EK-I-120/19, dated 10/24/19). All patients and control group participants signed informed consent before starting the study and could refuse participation at any time during the study. The examination was performed in accordance with the protocol, GCP standards, World Medical Association Declaration of Helsinki 1964 amended 1975–2013, and regulatory requirements. Patients were tested in the presence of a psychiatrist — an employee of the clinic.

Критерии включения согласно протоколу исследования были следующими:

- возраст от 18 до 45 лет;
- диагноз параноидной шизофрении (F20 по МКБ-10);
- зрение нормальное или скорректированное очками или линзами.

Критерии не включения для пациентов были следующими:

- офтальмологические заболевания, не корреклируемые очками или линзами и приводящие к снижению зрительных функций;
- острое психотическое состояние;
- органическое поражение центральной нервной системы (ЦНС);
- наличие тяжелых острых и хронических соматических заболеваний, требующих применения постоянной дополнительной фармакологической терапии;
- диабет;
- алкогольная или наркотическая зависимость;
- для женщин: беременность или период лактации.

Для участников контрольной группы критериями включения были:

- возраст от 18 до 45 лет;
- отсутствие неврологических и психических заболеваний в анамнезе;
- зрение нормальное или скорректированное до нормального линзами или очками.

Критериями невключения были:

- офтальмологические заболевания, не корректные очки или линзы и приводящие к снижению зрительных функций;
- психопатологические расстройства на момент включения в исследование;
- органическое поражение ЦНС;
- наличие тяжелых соматических заболеваний, требующих применения постоянной дополнительной фармакологической терапии;
- диабет;
- алкогольная или наркотическая зависимость;
- для женщин: беременность или период лактации.

Обследование больных проводилось в клинике НМИЦ психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева. Пациентов включали в исследование в подостром состоянии через 1–2 нед. после поступления на лечение в стационар. Все пациенты на момент исследования получали антипсихотическую терапию в виде типичных нейролептиков (4 пациента), атипичных (14 пациентов) либо их комбинации (12 пациентов). Среди типичных нейролептиков были такие препараты, как галоперидол, клозапин, тиоридазин, хлорпромазин, хлорпроксен, зуклопентиксол; атипичных — карипразин, луразидон, рисперидон, палиперидон, арипипразол, оланзапин, кветиапин.

Среднее значение дозировки антипсихотических препаратов составило 664 мг в хлорпромазиновом эквиваленте. Допускался прием тригексифенидила для коррекции экстрапирамидной симптоматики до 8 мг/сут.

Сбор данных обследования лиц из группы контроля проводили на базе Института когнитивных исследований Санкт-Петербургского государственного университета. Участников исследования просили воздержаться от приема алкоголя за день до проведения, а в день исследования — не употреблять кофеинсодержащие продукты и не курить.

Регистрация контрастной чувствительности

Контрастную чувствительность регистрировали с использованием компьютерной визоконтрастметрии [14] методом адаптивной лестничной процедуры [42, 43]. Компьютерная программа была разработана С.В. Прониным в лаборатории физиологии зрения Института физиологии им. И.П. Павлова РАН. Процедура исследования и методология регистрации порога контрастной чувствительности подробно описаны в статье И.И. Shoshina и соавт. [10]. Обследуемым предъявляли элементы Габора — решетки с распределением яркости, подчиняющимся синусоидальному закону, со снижением амплитуды синусоиды от центра к краям стимула по закону Гаусса [44] и градиентом пространственных частот 0,4, 1,0, 3,0 и 10,0 цикл/град

(рис. 1). При анализе показателей, полученных к низким пространственным частотам, к которым более чувствительны нейроны магноцеллюлярной системы, относили 0,4 цикл/град. Чувствительность к средним пространственным частотам, восприятие которых опосредовано взаимодействием магноцеллюлярной и парвоцеллюлярной систем, определялась в значениях 1,0 и 3,0 цикл/град; а к высоким пространственным частотам, к восприятию которых более специфична парвоцеллюлярная система, — 10,0 цикл/град. Стимулы предъявляли на мониторе Toshiba Satellite A200-1M8, Intel® Core™2 Duo — T7100 1800 МГц/1024 Мб (дисплей «15.4» TFT WXGA, Toshiba TruBrite, 1024 × 600 пикселей, 60 Гц) на фоне маски в виде аддитивного белого шума [10]. Расстояние от монитора до глаз испытуемого составляло 1,5 м.

Регистрацию контрастной чувствительности осуществляли при бинокулярном наблюдении в затемненном помещении, неподвижность положения головы

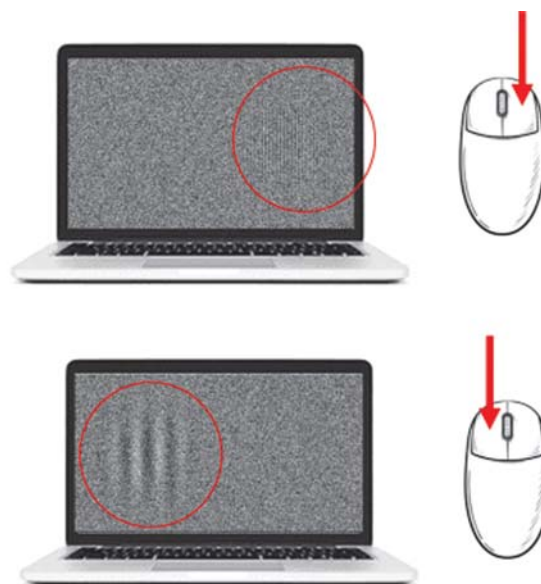


Рис. 1. Демонстрация процедуры регистрации контрастной чувствительности зрительной системы

Примечания: вверху представлен стимул высокой пространственной частоты, он находится справа от центра экрана, соответственно, участнику необходимо было нажать на правую кнопку мыши. Внизу представлен стимул средней пространственной частоты, он находится слева от центра экрана, следовательно участнику исследования необходимо было нажать на левую кнопку мыши

Fig. 1 Demonstration of the procedure for registering visual contrast sensitivity.

Notes: a high spatial frequency stimulus is presented at the top, as it is located to the right of the center of the screen, the participant had to click on the right mouse button. The stimulus of the medium spatial frequency is presented below, it is located to the left of the center of the screen, therefore, the study participant had to click on the left mouse button

участника исследования обеспечивали с помощью стандартной лобно-подбородной подставки.

Регистрация микротремора глаз (ocular microtremor, OMT). Показатели OMT фиксировали с использованием оригинальной системы скоростной видеорегистрации, состоящей из лобно-подбородной подставки, осветителя, согласующей оптики (набор линз), видеорегистратора и персонального компьютера с программным обеспечением [45]. Объектом фиксации были микрососуды склеры глаза испытуемого. Продолжительность видеозаписи составляла 1,5–3,0 с, информация записывалась в XY координатах матрицы видеокамеры регистратора с дискретностью, равной пикселю матрицы монитора компьютера. Запись видеофайлов, персонализацию данных, расчет статистических параметров микротремора глаз осуществляли с помощью программного обеспечения на основе языка Python.3 и публично доступных библиотек обработки изображений и OpenCV анализа данных scіru [45].

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета IBM SPSS Statistics 26. Выполняли анализ с помощью многомерного дисперсионного анализа (MANOVA) и U-критерия Манна–Уитни, когда распределение не соответствовало нормальному.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средние значения контрастной чувствительности в группе пациентов при предъявлении элементов Габора, содержащих низкую пространственную частоту 0,4 цикл/град, составили $11,4 \pm 4,4$, средних частот 1,0 цикл/град — $15,7 \pm 7,2$ и 3 цикл/град — $13,3 \pm 5,7$, высокую пространственную частоту

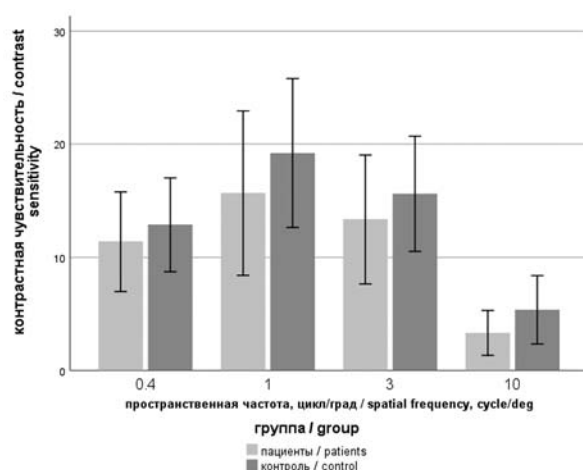


Рис. 2. Контрастная чувствительность в различных диапазонах пространственных частот при шизофрении и в группе здорового контроля

Примечание: представлены средние значения со стандартным отклонением

Fig. 2 Contrast sensitivity in different spatial frequency ranges in schizophrenia and in the healthy control group
Note: average values with standard deviation are presented

10 цикл/град — $3,3 \pm 2,0$. В группе здорового контроля показатели соответственно составили $12,4 \pm 4,1$, $19,2 \pm 6,6$, $15,6 \pm 5,1$ и $5,4 \pm 3,0$ (рис. 2).

Результаты статистического анализа свидетельствуют о низких значениях контрастной чувствительности у пациентов при восприятии стимулов с пространственной частотой 1 цикл/град ($Z = -1,974$, $p = 0,048$; $F = 3,877$, $p = 0,054$) и 10 цикл/град ($Z = -2,780$, $p = 0,05$; $F = 9,588$, $p = 0,0033$) по сравнению с участниками группы контроля. Использование статистического анализа MANOVA показало также значимые различия между группами в этих же диапазонах частот.

Таким образом, статистически значимые различия контрастной чувствительности двух групп испытуемых установлены в диапазоне средних и высоких пространственных частот. Полученные данные рассматриваются нами как свидетельства рассогласования магно- и парвоклеточной нейронных систем при шизофрении. К восприятию высокочастотных стимулов специфичны парвоцеллюлярные каналы зрительной системы, а восприятие средних частот обеспечивается согласованным взаимодействием парвоцеллюлярных и магноцеллюлярных каналов [9]. Снижение контрастной чувствительности у пациентов по сравнению с группой контроля может быть связано с хроническим течением заболевания [9, 46–49]. В группе пациентов не наблюдали более высоких значений контрастной чувствительности к стимулам, содержащим низкую пространственную частоту. Возможно, это связано с отсутствием в исследованной выборке пациентов с первым эпизодом, не получавших медикаментозного лечения [50, 51], для которых, по данным некоторых авторов, характерна гиперактивность магноканалов, обеспечивающих восприятие низких пространственных частот [50, 52]. Результаты настоящего исследования свидетельствуют об особом характере взаимодействия магно- и парвосистем при хронизации заболевания. Наблюдается доминирование магносистемы из-за снижения чувствительности парвоклеточной системы.

В исследовании с регистрацией микротремора глаз приняли участие 13 пациентов из 30, прошедших исследование контрастной чувствительности. Поэтому для статистической обработки данных из 30 участников контрольной группы были случайным образом выбраны 13 человек.

Средняя частота микротремора глаз в группе пациентов составила $89,8 \pm 6,1$ Гц, средняя амплитуда — $0,67 \pm 0,4$ угл/мин, в группе контроля — $91,75 \pm 4,1$ Гц и $0,26 \pm 0,09$ угл/мин соответственно. Результаты статистического анализа свидетельствуют о значимом снижении частоты ($Z = -2,403$, $p = 0,016$; $F = 9,191$, $p = 0,008$) и повышении амплитуды OMT ($Z = -10,494$, $p < 0,0001$; $F = 129,382$, $p < 0,0005$) при шизофрении по сравнению с группой здорового контроля.

Для более детального анализа спектр частоты OMT был разделен на условные диапазоны: 0–40 Гц, 40–50 Гц, 50–60 Гц, 60–70 Гц, 70–100 Гц и 100–110 Гц. Рассчитывали частоту попадания в каждый из заданных

диапазонов частоты микротремора глаз. В группе пациентов частота попадания в интервал 0–40 Гц составила $0,007 \pm 0,015$, 40–50 Гц — $0,29 \pm 0,03$, 50–60 Гц — $0,06 \pm 0,03$, 60–70 Гц — $0,14 \pm 0,05$, 70–100 Гц — $0,42 \pm 0,07$, 100–110 Гц — $0,35 \pm 0,07$ (рис. 3).

В группе контроля частота попадания в интервал частоты ОМТ от 0 до 40 Гц составила $0,005 \pm 0,0008$, 40–50 Гц — $0,029 \pm 0,027$, 50–60 Гц — $0,05 \pm 0,02$,

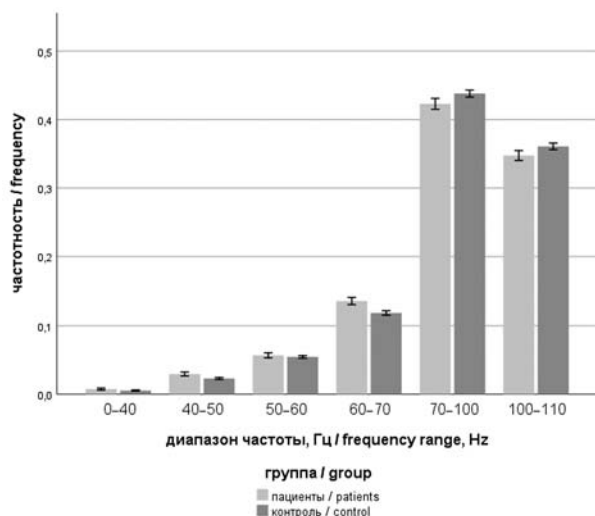


Рис. 3. Спектр частоты микротремора глаз при шизофрении и в группе контроля

Примечание: представлены средние значения со стандартной ошибкой

Fig. 3 The spectrum of the frequency of eye microtremor in schizophrenia and in the control group

Note: average values with standard error are presented

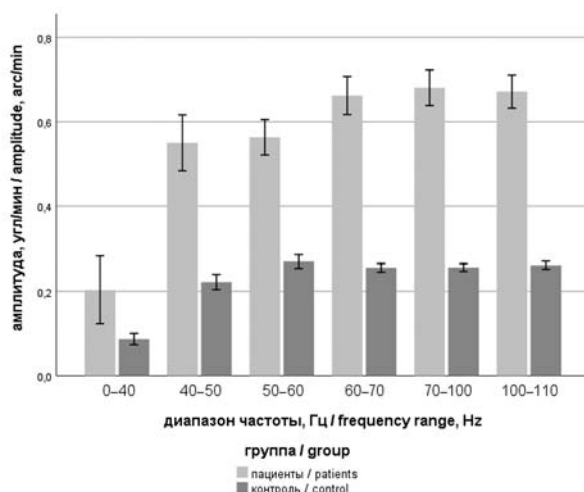


Рис. 4. Амплитуда в условно выделенных диапазонах спектра частоты микротремора глаз при шизофрении и в группе контроля

Примечание: представлены средние значения со стандартной ошибкой

Fig. 4 Amplitude in selected ranges of the frequency spectrum of the eye microtremor in schizophrenia and in the control group

Note: average values with standard error are presented

60–70 Гц — $0,12 \pm 0,03$, 70–100 Гц — $0,43 \pm 0,05$, 100–110 Гц — $0,4 \pm 0,05$. Детальный анализ частотного спектра микротремора глаз показал, что у пациентов значительно более выражена частота ОМТ в диапазоне 60–70 Гц ($Z = -2,466$, $p = 0,014$; $F = 8,664$, $p = 0,004$) по сравнению с контрольной группой.

Средние значения амплитуды ОМТ в группе пациентов составили в диапазоне частоты 0–40 Гц — $0,2 \pm 0,7$ угл/мин, 40–50 Гц — $0,55 \pm 0,6$ угл/мин, 50–60 Гц — $0,6 \pm 0,4$ угл/мин, 60–70 Гц — $0,7 \pm 0,4$ угл/мин, 70–100 Гц — $0,7 \pm 0,4$ угл/мин, 100–110 Гц — $0,7 \pm 0,4$ угл/мин. В группе контроля средние значения амплитуды ОМТ соответственно составили $0,9 \pm 0,14$ угл/мин, $0,2 \pm 0,2$ угл/мин, $0,3 \pm 0,2$ угл/мин, $0,25 \pm 0,1$ угл/мин, $0,25 \pm 0,095$ угл/мин и $0,26 \pm 0,098$ угл/мин (рис. 4).

Результаты статистического анализа свидетельствуют о значимо более высоких значениях амплитуды микротремора глаз при шизофрении по сравнению с группой здорового контроля в диапазонах частоты 40–50 Гц ($Z = -4,265$, $p < 0,0001$; $F = 28,195$, $p < 0,0005$), 50–60 Гц ($Z = -7,371$, $p < 0,0001$; $F = 50,691$, $p < 0,0005$), 60–70 Гц ($Z = -9,995$, $p < 0,0001$; $F = 96,805$, $p < 0,0005$), 70–100 Гц ($Z = -10,342$, $p < 0,0001$; $F = 120,53$, $p < 0,0005$) и 100–110 Гц ($Z = -10,219$, $p < 0,0001$; $F = 127,913$; $p < 0,0005$).

Таким образом, у пациентов средняя частота ОМТ была ниже, чем у группы здорового контроля. При этом в спектре частоты ОМТ у пациентов превалировал диапазон 60–70 Гц. Также у пациентов были зарегистрированы более высокие значения амплитуды в диапазоне частоты микротремора от 40 до 110 Гц по сравнению с контрольной группой. Наблюдаемые отклонения могут быть связаны с изменением тонуса моторных единиц и активности α -мотонейронов ствола головного мозга, которые регулируют работу ядер глазодвигательного комплекса [36].

Таким образом, отличия параметров микротремора глаз в группе пациентов от условно здорового контроля могут отражать нарушения функционального состояния стволовых структур мозга при шизофрении, в данном случае параноидной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пациенты с параноидной шизофренией демонстрировали снижение контрастной чувствительности в области средних и высоких пространственных частот по сравнению с условно здоровыми участниками исследования. Это может свидетельствовать о рассогласовании взаимодействия магноцеллюлярных и парвоцеллюлярных каналов зрительной системы со сдвигом в сторону доминирования магноцеллюлярной системы, специфичной к низким пространственным частотам, содержащимся в изображении. Пациенты демонстрировали меньшие значения частоты и более высокие значения амплитуды ОМТ по сравнению с контрольной группой, а также преобладание в спектре ОМТ частоты

60–70 Гц. Наблюдаемые отклонения показателей позволяют предполагать повышение уровня активности ретикулярной формации ствола головного мозга при шизофрении, в данном случае параноидной. Полученные данные позволяют судить только об отличиях контрастной чувствительности зрения и микротремора глаз от этих характеристик в норме, т.е. в отсутствие психической патологии. Клиническая интерпретация результатов в настоящее время может быть только предварительной.

ВЫВОДЫ

Параметры контрастной чувствительности и микротремора глаз могут рассматриваться как инструмент для выявления маркеров патологического процесса при психических заболеваниях, таких как шизофрения. В связи с этим представляют интерес дальнейшие исследования по регистрации этих параметров на разных стадиях заболевания в условиях различной антипсихотической терапии длительности заболевания и выраженности симптоматики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. Mueser KT, Jeste DV (ed.). Clinical handbook of schizophrenia. Guilford Press. 2011;650.
2. Мосолов СН, Цукарзи ЭЭ, Алфимов ПВ. Алгоритмы биологической терапии шизофрении. *Современная терапия психических расстройств*. 2014;(1):27–36. Mosolov SN, Cukarzi JeJe, Alfimov PV. Algoritmy biologicheskoy terapii shizofrenii. *Sovremennaya terapiya psichicheskikh rasstrojstv*. 2014;(1):27–36. (In Russ.).
3. Мосолов СН. Некоторые актуальные теоретические проблемы диагностики, классификации, нейробиологии и терапии шизофрении: сравнение зарубежного и отечественного подходов. *Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова*. 2010;110(6):4–11. Mosolov SN. Nekotorye aktual'nye teoreticheskie problemy diagnostiki, klassifikacii, neirobiologii i terapii shizofrenii: sravnenie zarubezhnogo i otechestvennogo podhodov. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2010;110(6):4–11. (In Russ.).
4. Шмуклер АБ, Костюк ГП, Латанов АВ, Сидорова МЮ, Анисимов ВН, Захарова НВ, Карякина МВ, Резник АМ, Соколов АВ, Спектор ВА, Сухачевский ИС, Чурикова МА. Сетевой анализ когнитивных, глазодвигательных и речевых показателей при шизофрении. *Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова*. 2020;120(6–2):54–60. doi: [10.17116/jnevro202012006254](https://doi.org/10.17116/jnevro202012006254) Shmukler AB, Kosytuk GP, Latanov AV, Sidorova MY, Anisimov VN, Zakharova NV, Karyakina MV, Reznik AM, Sokolov AV, Spektor VA, Sukhachevskii IS, Churikova MA. Network analysis of cognitive, oculomotor and speech parameters in schizophrenia. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry/Zhurnal Nevrologii i Psikhiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2020;120(6–2):54–60. (In Russ.). doi: [10.17116/jnevro202012006254](https://doi.org/10.17116/jnevro202012006254)
5. Иванов МВ, Тумова МА, Муслимова ЛМ, Капустина ТВ. Нарушения обработки информации у больных шизофренией: обзор литературы. *Сибирский вестник психиатрии и наркологии*. 2020;2(107):41–50. doi: [10.26617/1810-3111-2020-2\(107\)-41-50](https://doi.org/10.26617/1810-3111-2020-2(107)-41-50) Ivanov MV, Tumova MA, Muslimova LM, Kapustina TV. Information Processing Disorders in Patients with Schizophrenia: a Literature Review. *Siberian Herald of Psychiatry and Addiction Psychiatry*. 2020;2(107):41–50. (In Russ.). doi: [10.26617/1810-3111-2020-2\(107\)-41-50](https://doi.org/10.26617/1810-3111-2020-2(107)-41-50)
6. Silverstein MS, Keane PB, Demmin LD, Fradkin IS. Visual impairments in schizophrenia: their significance and unrealized clinical potential. *Psychiatra Danubina*. 2020;32(1):72–73.
7. Jurišić D, Čavar I, Sesar A, Sesar I, Vukojević J, Ćurković M. New insights into schizophrenia: a look at the eye and related structures. *Psychiatra Danubina*. 2020;32(1):60–69. doi: [10.24869/psyd.2020.60](https://doi.org/10.24869/psyd.2020.60)
8. Butler PD, Silverstein SM, Dakin SC. Visual perception and its impairment in schizophrenia. *Biol Psychiatry*. 2008;64(1):40–47. doi: [10.1016/j.biopsych.2008.03.023](https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.03.023)
9. Шошина ИИ, Шелепин ЮЕ. Механизмы глобального и локального анализа зрительной информации при шизофрении. СПб.: Изд-во ВВМ, 2016;300. Shoshina II, Shelepin YuE. Mehanizmy global'nogo i lokal'nogo analiza zritel'noj informacii pri shizofrenii. SPb.: Izd-vo VVM, 2016;300. (In Russ.).
10. Shoshina II, Mukhitova YV, Tregubenko IA, Pronin SV, Isaeva ER. Contrast sensitivity of the visual system and cognitive functions in schizophrenia and depression. *Human Physiology*. 2021;47:516–527.
11. Симонова НА, Гарах ЖВ, Зайцева ЮС, Шмуклер АБ. Нейрофизиологические механизмы нарушения зрительного восприятия при шизофрении. *Социальная и клиническая психиатрия*. 2014;24(1):81–89. Simonova NA, Garakh ZV, Zaitseva YS, Shmukler AB. Neurophysiological mechanisms of impaired visual perception in schizophrenia. *Social and Clinical Psychiatry*. 2014;24(1):81–89. (In Russ.).
12. Javitt DC. When doors of perception close: bottom-up models of disrupted cognition in schizophrenia. *Annu Rev Clin Psychol*. 2009;5:249–275. doi: [10.1146/annurev.clinpsy.032408.153502](https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.032408.153502) PMID: 19327031; PMCID: PMC4501390.
13. Dias EC, Butler PD, Hoptman MJ, Javitt DC. Early sensory contributions to contextual encoding deficits in schizophrenia *Arch Gen Psychiatry*. 2011;68(7):654–664. doi: [10.1001/archgenpsychiatry.2011.17](https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.17) Epub 2011 Mar 7. PMID: 21383251; PMCID: PMC4346148.
14. Шелепин ЮЕ, Колесникова ЛИ, Левкович ЛН. Визоконтрастометрия. Л.: Наука. 1985;103. Shelepin YuE, Kolesnikova LI, Levkovich LN. Vizokontrastometrija. L.: Nauka. 1985;103. (In Russ.).

15. Шелепин ЮЕ. Введение в нейроиконику. СПб.: Общество с ограниченной ответственностью Издательско-торговая компания Троицкий мост, 2017;352.
Shelepin YuE. Vvedenie v nejroikoniku. SPb.: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju Izdatel'sko-torgovaja kompanija Troickij most, 2017;352. (In Russ.).
16. Edwards M, Goodhew SC, Badcock DR. Using perceptual tasks to selectively measure magnocellular and parvocellular performance: Rationale and a user's guide. *Psychon Bull Rev.* 2021;28(4):1029–1050. doi: [10.3758/s13423-020-01874-w](https://doi.org/10.3758/s13423-020-01874-w) Epub 2021 Mar 19. PMID: 33742424; PMCID: PMC8367893.
17. Campbell FW. The human eye as an optical filter. *Proceedings of the IEEE.* 1968;56(6):1009–1014. doi: [10.1109/PROC.1968.6452](https://doi.org/10.1109/PROC.1968.6452)
18. Campbell FW, Robson JG. Application of Fourier analysis to the visibility of gratings. *J Physiol.* 1968;197(3):551–566. doi: [10.1113/jphysiol.1968.sp008574](https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008574) PMID: 5666169; PMCID: PMC1351748.
19. Croner LJ, Kaplan E. Receptive fields of P and M ganglion cells across the primate retina. *Vision research.* 1995;35(1):7–24. doi: [10.1016/0042-6989\(94\)E0066-T](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)E0066-T)
20. Kaplan E. The M, P, and K pathways of the primate visual system. In: *The Visual Neurosciences* Editors: L. Chalupa and J. Werner 2004;1:481–493. doi: [10.7551/mitpress/7131.003.0036](https://doi.org/10.7551/mitpress/7131.003.0036)
21. Freud E, Behrmann M, Snow JC. What does dorsal cortex contribute to perception? *Open Mind.* 2020;4:40–56. doi: [10.1162/opmi_a_00033](https://doi.org/10.1162/opmi_a_00033)
22. Nassi JJ, Callaway EM. Parallel processing strategies of the primate visual system. *Nat Rev Neurosci.* 2009;10(5):360–372. doi: [10.1038/nrn2619](https://doi.org/10.1038/nrn2619) Epub 2009 Apr 8. PMID: 19352403; PMCID: PMC2771435.
23. Zemon V, Herrera S, Gordon J, Revheim N, Silipo G, Butler PD. Contrast sensitivity deficits in schizophrenia: A psychophysical investigation. *Eur J Neurosci.* 2021; 53(4):1155–1170. doi: [10.1111/ejn.15026](https://doi.org/10.1111/ejn.15026) Epub 2020 Nov 9. PMID: 33118212.24.
24. Calderone DJ, Hoptman MJ, Martínez A, Nair-Collins S, Mauro CJ, Bar M, Butler PD. Contributions of low and high spatial frequency 95 processing to impaired object recognition circuitry in schizophrenia. *Cereb Cortex.* 2013;23(8):1849–1858. doi: [10.1093/cercor/bhs169](https://doi.org/10.1093/cercor/bhs169)
25. Laprevote V, Oliva A, Ternois AS, Schwan R, Thomas P, Boucart M. Low spatial frequency bias in schizophrenia is not face specific: when the integration of coarse and fine information fails. *Front Psychol.* 2013;4:248. doi: [10.3389/fpsyg.2013.00248](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00248)
26. Almeida NL, Fernandes TP, Lima EH, Sales HF, Santos NA. Combined influence of illness duration and medication type on visual sensitivity in schizophrenia. *Braz J Psychiatry.* 2019;42:27–32. doi: [10.1590/1516-4446-2018-0331](https://doi.org/10.1590/1516-4446-2018-0331)
27. Ляпунов СИ. Пороговый контраст зрительной системы в зависимости от внешних условий для различных тестовых стимулов. *Оптический журнал.* 2014;81(6):63–71. doi: [10.1364/JOT.81.000349](https://doi.org/10.1364/JOT.81.000349)
Lyapunov SI. Threshold contrast of the visual system as a function of the external conditions for various test stimuli. *Journal of Optical Technology.* 2014;81(6):63–71. (In Russ.). doi: [10.1364/JOT.81.000349](https://doi.org/10.1364/JOT.81.000349)
28. Ляпунов СИ. Острота зрения и контрастная чувствительность зрительной системы человека. *Оптический журнал.* 2017;84(9):44–48. doi: [10.1364/JOT.84.000613](https://doi.org/10.1364/JOT.84.000613)
Lyapunov SI. Visual acuity and contrast sensitivity of the human visual system. *Journal of Optical Technology.* 2017;84(9):44–48. (In Russ.). doi: [10.1364/JOT.84.000613](https://doi.org/10.1364/JOT.84.000613)
29. Ляпунов СИ. Реакция зрительной системы на синусоидальную волну для различных внешних условий. *Оптический журнал.* 2018;85(2):48–54. doi: [10.1364/JOT.85.000100](https://doi.org/10.1364/JOT.85.000100)
Lyapunov SI. Response of the visual system to sine waves under various external conditions *Journal of Optical Technology.* 2018;85(2):48–54. (In Russ.). doi: [10.1364/JOT.85.000100](https://doi.org/10.1364/JOT.85.000100)
30. Pritchard RM. Stabilized images on the retina. *Sci Am.* 1961;204:72–78. doi: [10.1038/scientificamerican0661-72](https://doi.org/10.1038/scientificamerican0661-72) PMID: 13738093.
31. Evans CR. Some studies of pattern perception using a stabilized retinal image. *Br J Psychol.* 1965;56:121–133. doi: [10.1111/j.2044-8295.1965.tb00951.x](https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1965.tb00951.x) PMID: 14340110.
32. Heckenmueller EG. Stabilization of the retinal image: A review of method, effects, and theory. *Psychol Bull.* 1965;63(3):157. doi: [10.1037/h0021743](https://doi.org/10.1037/h0021743)
33. Tulunay-Keesey Ü. Fading of stabilized retinal images. *JOSA.* 1982;72(4):440–447. doi: [10.1364/JOSA.72.000440](https://doi.org/10.1364/JOSA.72.000440)
34. Ярбус АЛ. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965:167.
Yarbus AL. Role of eye movements in the visual process. М.: Наука, 1965:167. (In Russ.).
35. Барабанщиков ВА, Жегалло АВ. Айтрекинг: Методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике. М.: Когито-Центр, 2014;128.
Barabanshnikov VA, Zhegallov AV. Aytreking: Metody registracii dvizhenij glaz v psihologicheskikh issledovaniyakh i praktike. М.: Kogito-Centr, 2014;128. (In Russ.).
36. Кубарко АИ, Лихачев СА, Кубарко НП. Зрение (нейрофизиологические и нейроофтальмологические аспекты). Минск: БГМУ. 2009;2:352.
Kubarko AI, Lihachev SA, Kubarko NP. Zrenie (nevrofiziolicheskie i nejrooftal'mologicheskie aspekty). Minsk: BGMU. 2009;2:352. (In Russ.).
37. Bolger C, Bojanic S, Sheahan N, Malone J, Hutchinson M, Coakley D. Ocular microtremor (OMT): a new

- neurophysiological approach to multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2000;68(5):639–642. doi: [10.1136/jnnp.68.5.639](https://doi.org/10.1136/jnnp.68.5.639)
38. Bolger C, Bojanic S, Sheahan NF, Coakley D, Malone JF. Ocular microtremor in patients with idiopathic Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1999;66(4):528–531. doi: [10.1136/jnnp.66.4.528](https://doi.org/10.1136/jnnp.66.4.528)
 39. Garcia-Rill E. Disorders of the reticular activating system. *Med Hypotheses*. 1997;49(5):379–387. doi: [10.1016/S0306-9877\(97\)90083-9](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(97)90083-9)
 40. Karson CN, Garcia-Rill E, Biedermann J, Mrak RE, Husain MM, Skinner RD. The brain stem reticular formation in schizophrenia. *Psychiatry Res*. 1991;40(1):31–48. doi: [10.1016/0925-4927\(91\)90027-N](https://doi.org/10.1016/0925-4927(91)90027-N)
 41. Михайлова ИИ, Орлова ВА, Березовская ТП, Шавладзе НЗ, Минутко ВЛ. МРТ-признаки аномалий головного мозга у больных приступообразной шизофренией: новые данные с использованием ангиографии. *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России*. 2013;1(13):5. Mihajlova II, Orlova VA, Berezovskaja TP, Shavladze NZ, Minutko VL. MRT-priznaki anomalij golovnogogo mozga u bol'nyh pristupoobraznoj shizofreniej: novye dannye s ispol'zovaniem angiografii. *Vestnik Rossijskogo nauchnogo centra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2013;1(13):5. (In Russ.).
 42. Nadler DJ. Glare and Contrast Sensitivity in Cataracts and Pseudophakia. In: D.W. Miller, D.J. Nadler. Glare and Contrast Sensitivity for Clinicians Published in Springer: New York, 1990:53–65.
 43. Yu Q, Zhang P, Qiu J, Fang F. Perceptual learning of contrast detection in the human lateral geniculate nucleus. *Curr Biol*. 2016;26(23):3176–3182. doi: [10.1016/j.cub.2016.09.034](https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.09.034)
 44. Белозёров АЕ. Теоретическая оценка трехполосных стимулов как опотипов для измерения остроты зрения в сравнении с элементами Габора. *Сенсорные системы*. 2013;27(2):108–121. Belozjorov AE. Teoreticheskaja ocenka trehpolosnyh stimulov kak optotipov dlja izmerenija ostroty zrenija v sravnenii s jelementami Gabora. *Sensornye sistemy*. 2013;27(2):108–121. (In Russ.).
 45. Ляпунов СИ, Шошина ИИ, Ляпунов ИС. Треморные колебания глаз как объективный показатель утомления водителей. *Физиология человека*. 2022;48(1):71–77. doi: [10.31857/S013116462201009X](https://doi.org/10.31857/S013116462201009X) Lyapunov SI, Shoshina II, Lyapunov IS. Tremor Eye Movements as an Objective Marker of Driver's Fatigue. *Human Physiology*. 2022;48(1):71–77. (In Russ.). doi: [10.1134/S0362119722010091](https://doi.org/10.1134/S0362119722010091)
 46. Kéri S, Antal A, Szekeres G, Benedek G, Janka Z. Spatiotemporal visual processing in schizophrenia. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 2002;14(2):190–196. doi: [10.1176/jnp.14.2.190](https://doi.org/10.1176/jnp.14.2.190)
 47. Шошина ИИ, Шелепин ЮЕ, Вершинина ЕА, Новикова КО. Функциональные особенности магно-целлюлярной и парвоцеллюлярной систем при шизофрении. *Психология. Психофизиология*. 2014;7(4):77–88. Shoshina II, Shelepin YuE, Vershinina EA, Novikova KO. Funkcional'nye osobennosti magnocelljuljarnoj i parvocelljuljarnoj sistem pri shizofrenii. *Psihologija. Psihofiziologija*. 2014;7(4):77–88. (In Russ.).
 48. Шошина ИИ, Шелепин ЮЕ, Вершинина ЕА, Новикова КО. Пространственно-частотная характеристика зрительной системы при шизофрении. *Физиология человека*. 2015;41(3):29–40. doi: [10.1134/S0362119715030159](https://doi.org/10.1134/S0362119715030159) Shoshina II, Shelepin YuE, Vershinina EA, Novikova KO. The spatial-frequency characteristics of the visual system in schizophrenia. *Human Physiology*. 2015;41(3):29–40. (In Russ.). doi: [10.1134/S0362119715030159](https://doi.org/10.1134/S0362119715030159)
 49. Муравьева СВ, Пронина МВ, Моисеенко ГА, Пневская АН, Поляков ЮИ, Кропотов ЮД, Шелепин ЮЕ. Исследование зрительных когнитивных нарушений при шизофрении на ранних стадиях заболевания и их коррекция при помощи интерактивных виртуальных сред. *Физиология человека*. 2017;43(6):24–36. Murav'eva SV, Pronina MV, Moiseenko GA, Pnevskaja AN, Poljakov JuI, Kropotov JuD, Shelepin YuE. Analysis of Visual Cognitive Impairments in Schizophrenia at the Early Stages of the Disease and Their Correction by Interactive Virtual Environment. *Human Physiology*. 2017;43(6):24–36. (In Russ.). doi: [10.1134/S0362119717060056](https://doi.org/10.1134/S0362119717060056)
 50. Kiss I, Fábíán Á, Benedek G, Kéri S. When doors of perception open: visual contrast sensitivity in never-medicated, first-episode schizophrenia. *J Abnorm Psychol*. 2010;119(3):586. doi: [10.1037/a0019610](https://doi.org/10.1037/a0019610)
 51. Chen Y, Levy DL, Sheremata S, Nakayama K, Matthysse S, Holzman PS. Effects of typical, atypical, and no antipsychotic drugs on visual contrast detection in schizophrenia. *Am J Psychiatry*. 2003;160(10):1795–1801. doi: [10.1176/appi.ajp.160.10.1795](https://doi.org/10.1176/appi.ajp.160.10.1795)
 52. Kéri S, Benedek G. Visual contrast sensitivity alterations in inferred magnocellular pathways and anomalous perceptual experiences in people at high-risk for psychosis. *Vis Neurosci*. 2007;24(2):183–189. doi: [10.1017/S0952523807070253](https://doi.org/10.1017/S0952523807070253)

Сведения об авторах

Алиса Вадимовна Косикова, аспирант, Институт когнитивных исследований, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7120-8413>

alisa_kosikov@mail.ru

Ирина Ивановна Шошина, доктор биологических наук, профессор, Институт когнитивных исследований, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-8113-1680>

shoshinaii@mail.ru

Сергей Иванович Ляпунов, старший научный сотрудник, Институт общей физики им. А.М. Прохорова, РАН, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8819-9138>

dc.cetsil@gmail.com

Зумруд Тахсинбековна Гусейнова, младший научный сотрудник, отделение биологической терапии психически больных, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6737-5486>

zumaguseinova14@mail.ru

Иван Сергеевич Ляпунов, младший научный сотрудник, Институт общей физики им. А.М. Прохорова, РАН, Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0001-5535-5322>

dront78@gmail.com

Александра Артемовна Радивилко, студент, Институт когнитивных исследований, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0009-0005-9842-7778>

radivilkosasha@gmail.com

Михаил Владимирович Иванов, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отделения, отделение биологической терапии психически больных, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7829-2486>

profmikhailivanov@gmail.com

Information about the authors

Alisa V. Kosikova, Postgraduate Student, Institute of Cognitive Research, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7120-8413>

alisa_kosikov@mail.ru

Irina I. Shoshina, Dr. of Sci. (Biol.), Professor, the Institute for Cognitive Research, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-8113-1680>

shoshinaii@mail.ru

Sergey I. Lyapunov, Senior Researcher, Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8819-9138>

dc.cetsil@gmail.com

Zumrud T. Guseinova, Junior Researcher, Bekhterev National Medical Research Center for Psychiatry and Neurology, St. Petersburg, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6737-5486>

zumaguseinova14@mail.ru

Ivan S. Lyapunov, Junior Researcher, Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0009-0001-5535-5322>

dront78@gmail.com

Alexandra A. Radivilko, Student, Institute of Cognitive Research, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, <https://orcid.org/0009-0005-9842-7778>

radivilkosasha@gmail.com

Mikhail V. Ivanov, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of Department, Department of Biological Therapy of Psychic Patients, Bekhterev National Medical Research Center for Psychiatry and Neurology, St. Petersburg, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7829-2486>

profmikhailivanov@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interests.

Дата поступления 11.10.2023
Received 11.10.2023

Дата рецензирования 10.12.2023
Revised 10.12.2023

Дата принятия 19.12.2023
Accepted for publication 19.12.2023