С. А. Полевая, М. Е. Халак, К. С. Липатов, Н. В. Заречнова, М. М. Циркова, Е. В. Еремин, Н. А. Буланов, Клинические аспекты нелинейной динамики когнитивных процессов: особенности сенсомоторной активности у пациентов на клинической фазе COVID-19,
Известия вузов. ПНД, 2022, том 30, выпуск 3, 322–330

Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2022. Т. 30, № 3
Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics. 2022;30(3)

Научная статья
УДК 159.91
DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-322-330

Клинические аспекты нелинейной динамики когнитивных процессов: особенности сенсомоторной активности у пациентов на клинической фазе COVID-19

С. А. Полевая[1]✉*, М. Е. Халак*[1,2]*, К. С. Липатов*[3]*, Н. В. Заречнова*[3]*,*
М. М. Циркова[1,3]*, Е. В. Еремин*[1]*, Н. А. Буланов*[4]

[1]Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, Россия
[2]Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия
[3]Клиническая больница № 2 Приволжского окружного медицинского центра ФМБА России, Нижний Новгород, Россия
[4]НИУ «Высшая школа экономики», Москва, Россия
E-mail: ✉s453383@mail.ru, m-e-h@yandex.ru, kir_lipatov@rambler.ru, nvzar@mail.ru,
cirkova_mariya@mail.ru, eugenevc@gmail.com, nikbulanov@gmail.com
Поступила в редакцию 10.11.2021, принята к публикации 5.04.2022, опубликована 31.05.2022

Аннотация. Механизмы ретроградного или антероградного нейронального транспорта обеспечивают миграцию вирусов SARS-CoV-2 в моторные и сенсорные терминали, что может провоцировать существенные искажения в процессах распознавания информационных образов и формирования программ действий. *Цель* настоящего исследования — экспериментально определить динамические режимы когнитивной системы у пациентов с COVID-19. Когнитивные процессы отображены в пространстве параметров сенсомоторной активности при решении задач разного уровня сложности на WEB-платформе КОГНИТОМ. Пациентам и здоровым предъявлены одинаковые наборы стимулов в одинаковых функциональных контекстах. Ковид-специфические режимы обработки информации проявились в резком уменьшении скорости когнитивных процессов и увеличении количества пропусков целевых событий. Полученные данные открывают новые возможности для построения биологоправдоподобной модели когнитивной системы с учетом особенностей нейрональной платформы при COVID-19.

Ключевые слова: когнитивные процессы, информационные технологии, цифровизация, COVID-19.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке РНФ, грант № 22-18-20075.

Для цитирования: *Полевая С. А., Халак М. Е., Липатов К. С., Заречнова Н. В., Циркова М. М., Еремин Е. В., Буланов Н. А.* Клинические аспекты нелинейной динамики когнитивных процессов: особенности сенсомоторной активности у пациентов на клинической фазе COVID-19 // Известия вузов. ПНД. 2022. Т. 30, № 3. С. 322–330. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-322-330

Article
DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-322-330

Clinical aspects of nonlinear dynamics of cognitive processes: features of sensorimotor activity in patients at the clinical phase of COVID-19

S. A. Polevaya[1]✉*, M. E. Khalak*[1,2]*, K. S. Lipatov*[3]*, N. V. Zarechnova*[3]*,*
M. M. Cirkova[1,3]*, E. V. Eremin*[1]*, N. A. Bulanov*[4]

[1]National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia
[2]Privolzhsky Research Medical University of the MOH Russia, Nizhny Novgorod, Russia
[3]Clinical Hospital No. 2, Privolzhsky District Medical Center
of Federal Medico-Biological Agency of Russia, Nizhny Novgorod, Russia
[4]National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
E-mail: ✉s453383@mail.ru, m-e-h@yandex.ru, kir_lipatov@rambler.ru, nvzar@mail.ru,
cirkova_mariya@mail.ru, eugenevc@gmail.com, nikbulanov@gmail.com
Received 10.11.2021, accepted 5.04.2022, published 31.05.2022

Abstract. The mechanisms of retrograde or anterograde neuronal transport ensure the migration of SARS-CoV-2 viruses to motor and sensory terminals, which can provoke significant distortions in the processes of information pattern recognition and the formation of action programs. The *purpose* of this study is to experimentally determine the dynamic modes of the cognitive system in patients with COVID-19. Cognitive processes are displayed in the space of parameters of sensorimotor activity when solving problems of different levels of complexity on the COGNITOM WEB platform. Patients and healthy individuals are presented with the same sets of stimuli in the same functional contexts. Covid-specific modes of information processing were manifested in a sharp decrease in the speed of cognitive processes and an increase in the number of missed target events.

Keywords: cognitive processes, information technology, digitalization, COVID-19.

Acknowledgements. The work was supported in part by the Russian Science Foundation grant No. 22-18-20075.

For citation: Polevaya SA, Khalak ME, Lipatov KS, Zarechnova NV, Cirkova MM, Eremin EV, Bulanov NA. Clinical aspects of nonlinear dynamics of cognitive processes: features of sensorimotor activity in patients at the clinical phase of COVID-19. Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics. 2022;30(3):322–330. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-322-330

Введение

Свойства информационных систем проявляются в искажениях, которые они вносят в информационный сигнал. Цифровизация искажений при различных функциональных состояниях открывает новые возможности для построения биологоправдоподобных моделей когнитивных систем с учетом возрастных, клинических и индивидуальных особенностей когнитивного агента.

Пандемия COVID-19 актуализировала комплекс патологических состояний, связанных с рисками нарушения когнитивных функций: тяжелый острый респираторный синдром (ТОРС), хронический стресс, мультисистемный воспалительный синдром, синдром диссеминированного внутрисосудистого свертывания крови [1]. У значительной части пациентов с COVID-19 наблюдается чрезвычайно низкая сатурация крови кислородом, но, что примечательно, непропорционально мало симптомов церебральной, или «счастливой» гипоксии. Кислородное голодание головного мозга может провоцировать неврологические нарушения, особенно в областях мозга, очень чувствительных к гипоксии. Когнитивной дисфункции способствуют ишемические или гипоксические поражения гиппокампа, базальных ганглиев, мозжечка, нарушения функциональных связей, типичные для ТОРС. Специфические изменения когнитивных процессов могут быть связаны со специфическими нейротропными проявлениями активности коронавирусов [2]. Свойства SARS-CoV-2 как катализатора и ускорителя агрегации белков головного мозга способствуют серьезным повреждениям структуры и функции центральной нервной системы (ЦНС), включая инфекции иммунных макрофагов, микроглии или астроцитов, тяжелый энцефалит, токсическую энцефалопатию и тяжелые острые демиелинизирующие поражения. Данные ФМРТ свидетельствуют, что очаги деструкции распространяются на комплекс подкорковых структур, захватывают таламус, базальные ганглии и зоны неокортекса, включенные в лимбическую систему. Нейроанатомическая схема поражений мозга хорошо согласуется с нейроархитектурой дофаминергических путей. Неслучайно одним из проявлений действия SARS-CoV-2 является снижение активности дофамина в нигростриатном комплексе [3]. Механизмы ретроградного или антероградного нейронального транспорта обеспечивают миграцию вирусов в моторные и сенсорные терминали, что может провоцировать существенные искажения сенсомоторных реакций любого уровня сложности. Таким образом, SARS-CoV-2 поражает основные компоненты нейрональной платформы, поддерживающей ключевые когнитивные процессы:

1) повреждение экстероцептивных и интероцептивных сенсорных каналов провоцирует нарушение перцептивных процессов отображения объективных сигналов в признаки субъективных информационных образов и сигналы обратной афферентации;
2) деструкция таламуса провоцирует нарушение процесса концентрации информационных ресурсов на наиболее значимых объектах и событиях, то есть селективного внимания;
3) гипоксические поражения гиппокампа провоцируют нарушения в динамической системе памяти и провоцируют искажения в процессах сохранения и воспроизведения информационных образов;
4) деградация дофаминейргической системы искажает оценочные функции, нарушает локомоторные процессы, провоцирует редукцию эмоций, в том числе витальных, таких как «боль».

Из сообщений пациентов известен репертуар когнитивных проблем, связанных с COVID-19: спутанное сознание, трудности с концентрацией внимания, редукция двигательной активности, нарушение координации движений, потеря запаха и вкуса, снижение висцеральной чувствительности, резкая редукция оценочных функций и мотиваций [4]. Около 70% пациентов после выписки из больницы имели когнитивный дефицит, который проявлялся в уменьшении скорости и точности когнитивных процессов на фоне депрессии и тревожных расстройств. Данные о скорости и точности когнитивных процессов у пациентов на клинической опасной фазе COVID-19 крайне малочисленны. Уникальные возможности для объективизации открываются благодаря применению дистанционных методов мониторинга на базе WEB-платформ с набором интерактивных сенсомоторных тестов. В нашей работе представлены результаты измерения когнитивных функций на базе WEB-платформы КОГНИТОМ [5] и определены особенности работы с информационными образами у пациентов в клинической фазе болезни.

1. Методы

В исследовании приняли участие 30 добровольцев: 15 пациентов с положительным результатом анализа на РНК SARS-CoV-2 методом ПЦР, пневмонией разной степени тяжести, сатурацией не выше 95 и температурой не выше 37°C в возрасте от 40 до 63 лет (группа COVID); 15 здоровых в возрасте от 40 до 54 лет. Критерий исключения: наличие неврологических и психиатрических заболеваний.

Для измерения когнитивных функций на WEB-платформе КОГНИТОМ (cogni-nn.ru) [5] было сформировано 3 интерактивных контекста (тесты), включающих универсальный моторный компонент (нажатие на клавишу) и разные когнитивные компоненты: тест простой сенсомоторной реакции, тест на память «7 слов» и модификация теста Stroop. Когнитивные компоненты тестов отличались сложностью правил принятия решений и, соответственно, когнитивными процессами, обеспечивающими успешные реакции. Когнитивный компонент каждого теста включает сохранение в рабочей памяти целевых признаков и образа действия, перцепцию, селективное внимание, принятие решения и запуск программы действий. Тест «простая сенсомоторная реакция» обеспечивал минимальный уровень когнитивной нагрузки: для успеха достаточно выделить один признак — наличие/отсутствие сенсорного события. Тест на память «7 слов» сложнее: необходимо сохранить в памяти 7 хорошо знакомых слов (вербальных образов) и контролировать наличие/отсутствие целевого образа на экране монитора. Модифицированный тест Stroop отличался количеством целевых признаков и сложностью операций с информационными образами: необходимо обнаружить сенсорное событие (появление на экране слова, обозначающего цвет), определить соответствие вербального (смысл слова) и сенсорного образа (цвет букв на изображении слова), контролировать идентичность этих образов.

В каждом из трех тестов измерялись четыре показателя скорости и точности когнитивного процесса:

1) временной интервал между появлением изображения на экране монитора и моментом нажатия на кнопку (CogR, миллисекунды);
2) количество пропусков целевого стимула (ERR1);
3) количество двойных нажатий (ERR2);
4) количество нажатий на нецелевой стимул (ERR3).

Таким образом, по совокупности всех измерений режим когнитивных процессов отображался в пространстве 12 параметров.

В тесте «Простая сенсомоторная активность» (ПСМА) предъявлялось последовательно 70 одинаковых стимулов (красный круг диаметром 5 см), межстимульный интервал 1000 мс, экспозиция 100 мс. Задание: нажимать на кнопку сразу, как только на экране появится изображение круга. Продолжительность теста не более 2 минут.

В Тесте «7 слов» (ПАМЯТЬ) предлагалось запомнить 7 слов: лицо, красный, церковь, бархат, фиалка, кошка, время. Последовательно предъявлялось 58 слов, из которых 19 являлись целевыми. Межстимульный интервал 2000 мс, экспозиция 500 мс. Задание: нажимать на кнопку сразу, как только на экране появится запомненное слово. Продолжительность теста не более 3 минут.

В модифицированном тесте Stroop (Stroop_smr) стимулами являются цветные изображения слов, обозначающих цвет: красный, зеленый, синий, желтый, черный. Цвет букв назначается из этого же набора вариантов. Межстимульный интервал 1000 мс, экспозиция 500 мс. Задание: нажимать на кнопку сразу, как только цвет букв соответствует смыслу слова. Всего последовательно предъявляется 99 стимулов, из которых 20 являлись целевыми. Продолжительность теста не более 2 минут. Общая продолжительность тестирования составляла не более 10 минут.

Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica 10. Применены U-критерий Манна–Уитни и критерий Вилкоксона для оценки различий между двумя группами, многофакторный ANOVA, критерий корреляции Спирмена и кластерный анализ k-means. Статистическая значимость для всех анализов была установлена на уровне $p < 0.05$.

2. Результаты и обсуждение

Анализ цифровых отображений когнитивных процессов позволил выявить сложный паттерн искажений, спровоцированных инфекцией вирусом SARS-CoV-2 (табл. 1).

Для оценки влияния гипоксии на когнитивные процессы проведен анализ связи параметров сенсомоторной активности с уровнем сатурации. Из двенадцати параметров цифрового отображения наиболее чувствительны к гипоксии два: чем ниже насыщение крови кислородом, тем продолжительнее удержание кнопки (MR) в тесте «Простая сенсомоторная активность» (критерий Спирмана, $r = -0.71$) и продолжительность когнитивного процесса (CogR_ПАМЯТЬ) в тесте

Таблица 1. Параметры сенсомоторной активности
Table 1. Sensorimotor activity parameters

Параметры	Группа «COVID»	Группа «КОНТРОЛЬ»	Mann–Whitney U Test, p-value
CogR_ПСМР	393.83±40.93	225.06±27.38	**0.002**
Err#1_ПСМР	4.33±1.65	1.94±0.42	0.504
Err#2_ПСМР	0.58 ±0.23	2.61± .63	**0.035**
Err#3_ПСМР	0.42±0.15	0.61±0.12	0.315
CogR_ПАМЯТЬ	786.42±22.81	563.56±31.15	**0.000**
Err#1_память	2.25±0.52	0.56±0.17	**0.007**
Err#2_память	0.08±0.08	0.00±0.00	0.247
Err#3_память	1.08±0.23	3.28±0.50	**0.002**
CogR_Stroop	735.83±21.78	691.89±9.97	**0.000**
Err#1_Stroop	6.83±1.53	2.39±0.45	**0.013**
Err#2_Stroop	0.17±0.11	0.11±0.08	0.693
Err#3_Stroop	2.75±0.52	4.22±0.39	**0.036**

«7 слов» (критерий Спирмана, $r = -0.78$). Связь сатурации с этими параметрами аппроксимируется линейными функциями, позволяющими рассчитывать риски гипоксических нарушений ЦНС по результатам компьютерного тестирования (рис. 1).

Как в простых, так и в сложных контекстах продолжительность когнитивного компонента сенсомоторной активности у пациентов больше, чем у здоровых (рис. 2). Не выявлено значимых эффектов, связанных со сложностью правил принятия решения в разных тестах.

Изменения точности распознавания при ковиде оценивались по разнице количества ошибочных реакций между группами «COVID» и «КОНТРОЛЬ». При минимальном уровне сложности

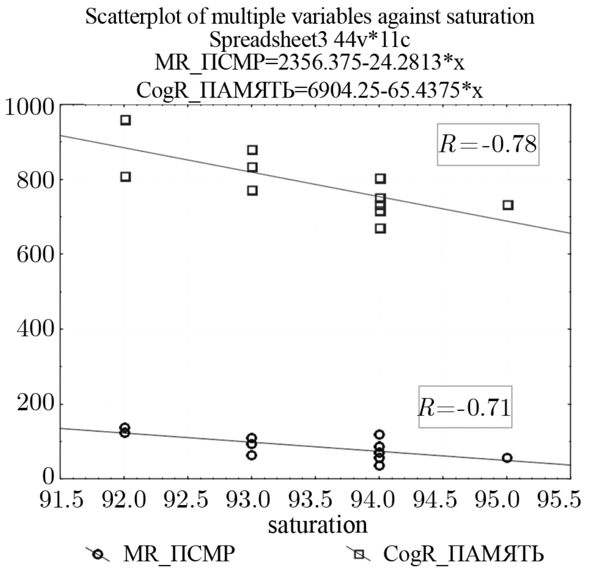

Рис. 1. Влияние насыщения крови кислородом на когнитивные процессы

Fig. 1. Effect of blood oxygen saturation on cognitive processes

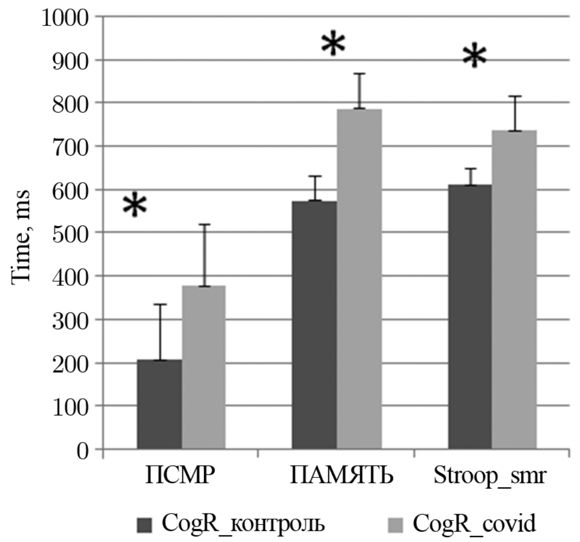

Рис. 2. Продолжительность когнитивного компонента сенсомоторной активности в группах «COVID» и «КОНТРОЛЬ». Звездочкой обозначены достоверные различия при $p < 0.05$

Fig. 2. The duration of the cognitive component of sensorimotor activity in the “COVID” and “CONTROL” groups. An asterisk indicates significant differences at $p < 0.05$

в тесте на простую сенсомоторную активность различия между группами проявилось только в росте количества повторных нажатий на один стимул (ERR2). В сложных контекстах (Тест на память «7 слов» и модифицированный тест Stroop) разница в подобных ошибках отсутствует, но выявлены значимые эффекты, связанные с фактором группа (ANOVA, $F(4, 112) = 3.9276$, $p = 0.00506$) (рис. 3) в количестве пропусков целевого события (ERR1) и количестве «ложных тревог» (ERR3). В группе «COVID» достоверно больше пропусков и достоверно меньше «ложных тревог».

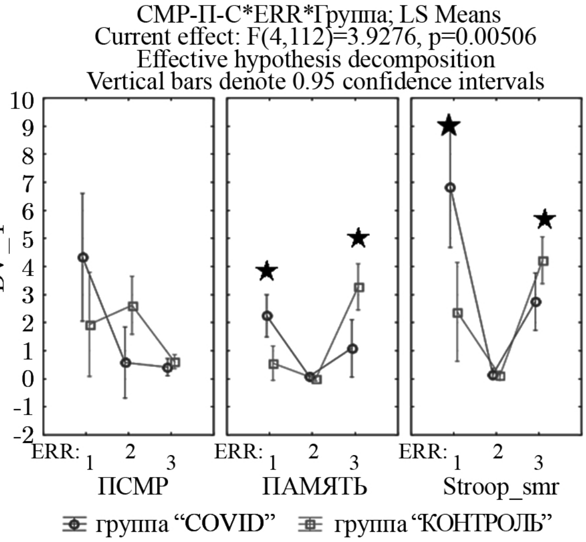

Рис. 3. Сравнительная оценка точности когнитивных процессов при заболевании COVID-19. Звездочкой обозначены достоверные различия $p < 0.05$

Fig. 3. Comparative assessment of the accuracy of cognitive processes in COVID-19 disease. An asterisk indicates significant differences $p < 0.05$

Принятие правильного решения по результату сравнения вербального и сенсорного образов требует значительных ресурсов рабочей памяти и обеспечивается обменом данными в цикле гиппокамп — базальные ганглии — таламус. Кроме того, для успешной компарации необходима активность дофаминергической системы. Таким образом, в работу вовлекаются элементы нейрональной платформы, поврежденные вирусом SARS-CoV-2, что неминуемо приводит к существенным искажениям когнитивных процессов.

Сравнительный анализ сенсомоторной активности в группах «COVID» и «КОНТРОЛЬ» позволил выделить 4 наиболее информативных параметра: продолжительности когнитивного компонента в каждом из тестов и количество пропусков события в тесте Stroop. На основе этих параметров проведен кластерный анализ и определены диапазоны показателей, характеризующие специфические искажения когнитивных процессов у пациентов в клинической фазе COVID-19 (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика кластеров по параметрам когнитивных процессов

Table 2. Characteristics of clusters by parameters of cognitive processes

Параметры	cluster 1 (КОНТРОЛЬ)	cluster 2 (COVID)
CogR_ПСМР (мс)	171.78–272.22	345.06–522.34
CogR_ПАМЯТЬ (мс)	520.93–655.07	713.91–850.29
CogR_Stroop (мс)	606.24–659.66	673.82–791.98
Err#1_Stroop	1.35–2.75	5.02–11.78
Чувствительность	0.94	0.75
Специфичность	0.85	0.90

Выводы

Нарушение структуры и функций нейронных сетей при ковиде закономерно проявились в увеличении продолжительности когнитивного компонента сенсомоторной активности как в простых, так и сложных контекстах. Общим этапом решения задач разного уровня сложности является процесс перцепции. Очевидно, что преобразование зрительного сигнала в субъективный информационный образ существенно замедляется из-за связанной с заболеванием COVID-19 деградации рецепторов, демиелинизации нервных волокон и деструкции таламуса.

В сложных функциональных контекстах принятие правильного решения по результату сравнения вербального и сенсорного образов в тесте Stroop или при узнавании в тесте «7 слов» требует значительных ресурсов рабочей памяти и обеспечивается обменом данными в цикле гиппокамп — базальные ганглии — таламус. Кроме того, для успешной компарации необходима активность дофаминергической системы. Таким образом, в работу вовлекаются элементы нейрональной платформы, поврежденные вирусом SARS-CoV-2, что неминуемо приводит к существенным искажениям когнитивных процессов.

Анализ изменений в структуре ошибок указывает на повышение строгости критерия, выбранного мозгом для отсева «ложных тревог». Рост пропусков целевого события и уменьшение «ложных тревог» свидетельствуют, что информационная система при ковиде отдает предпочтение отказу от действия. Можно предположить, что замедление процессов обработки информации и отказ от действия являются проявлением гипобиотического режима работы мозга и связаны с общим снижением энергообеспечения физиологических процессов при ковиде [6]. Выявляемый дефицит варьирует в зависимости от тяжести респираторных симптомов, не имеет прямой корреляции с возрастом, образованием или другими демографическими и социально-экономическими переменными, и отмечается в том числе у тех пациентов, у кого не отмечалось других остаточных симптомов.

Цифровые отображения когнитивных процессов, полученных с помощью комплекса интерактивных тестов на WEB-платформе КОГНИТОМ, позволили определить специфику искажений когнитивных процессов у пациентов на клинической фазе COVID-19. Полученные данные открывают новые возможности для построения биологоправдоподобной модели когнитивной системы с учетом особенностей нейрональной платформы при COVID-19.

Список литературы

1. *Miskowiak K. W., Johnsen S., Sattler S. M., Nielsen S., Kunalan K., Rungby J., Lapperre T., Porsberg C. M.* Cognitive impairments four months after COVID-19 hospital discharge: Pattern, severity and association with illness variables // Eur. Neuropsychopharmacol. 2021. Vol. 46. P. 39–48. DOI: 10.1016/j.euroneuro.2021.03.019.
2. *Beaud V., Crottaz-Herbette S., Dunet V., Vaucher J., Bernard-Valnet R., Du Pasquier R., Bart P.-A., Clarke S.* Pattern of cognitive deficits in severe COVID-19 // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 2021. Vol. 92, no. 5. P. 567–568. DOI: 10.1136/jnnp-2020-325173.
3. *Mukaetova-Ladinska E. B., Kronenberg G., Raha-Chowdhury R.* COVID-19 and neurocognitive disorders // Curr. Opin. Psychiatry. 2021. Vol. 34, no. 2. P. 149–156. DOI: 10.1097/YCO.0000000000000687.
4. *Devita M., Bordignon A., Sergi G., Coin A.* The psychological and cognitive impact of Covid-19 on individuals with neurocognitive impairments: research topics and remote intervention proposals // Aging Clin. Exp. Res. 2021. Vol. 33, no. 3. P. 733–736. DOI: 10.1007/s40520-020-01637-6.
5. *Полевая С. А., Еремин Е. В., Буланов Н. А., Бахчина А. В., Ковальчук А. В., Парин С. Б.* Событийно-связанная телеметрия ритма сердца для персонифицированного дистанционного мониторинга когнитивных функций и стресса в условиях естественной деятельности // Современные технологии в медицине. 2019. Т. 11, № 1. С. 109–115. DOI: 10.17691/stm2019.11.1.13.
6. *Drury R. L., Jarczok M., Owens A., Thayer J. F.* Wireless heart rate variability in assessing community COVID-19 // Front. Neurosci. 2021. Vol. 15. P. 564159. DOI: 10.3389/fnins.2021.564159.

References

1. Miskowiak KW, Johnsen S, Sattler SM, Nielsen S, Kunalan K, Rungby J, Lapperre T, Porsberg CM. Cognitive impairments four months after COVID-19 hospital discharge: Pattern, severity and association with illness variables. Eur. Neuropsychopharmacol. 2021;46:39–48. DOI: 10.1016/j.euroneuro.2021.03.019.
2. Beaud V, Crottaz-Herbette S, Dunet V, Vaucher J, Bernard-Valnet R, Du Pasquier R, Bart PA, Clarke S. Pattern of cognitive deficits in severe COVID-19. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 2021;92(5):567–568. DOI: 10.1136/jnnp-2020-325173.
3. Mukaetova-Ladinska EB, Kronenberg G, Raha-Chowdhury R. COVID-19 and neurocognitive disorders. Curr. Opin. Psychiatry. 2021;34(2):149–156. DOI: 10.1097/YCO.0000000000000687.
4. Devita M, Bordignon A, Sergi G, Coin A. The psychological and cognitive impact of Covid-19 on individuals with neurocognitive impairments: research topics and remote intervention proposals. Aging Clin. Exp. Res. 2021;33(3):733–736. DOI: 10.1007/s40520-020-01637-6.
5. Polevaya SA, Eremin EV, Bulanov NA, Bakhchina AV, Kovalchuk AV, Parin SB. Event-related telemetry of heart rate for personalized remote monitoring of cognitive functions and stress under conditions of everyday activity. Modern Technologies in Medicine. 2019;11(1):109–115. DOI: 10.17691/stm2019.11.1.13.
6. Drury RL, Jarczok M, Owens A, Thayer JF. Wireless heart rate variability in assessing community COVID-19. Front. Neurosci. 2021;15:564159. DOI: 10.3389/fnins.2021.564159.

Полевая Софья Александровна — родилась в Горьком (1964), окончила биологический факультет Горьковского государственного университета (1986). Защитила диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук (ННГУ, 1997) и доктора биологических наук (ИТЭБ, 2009). В настоящее время заведует кафедрой психофизиологии Нижегородского государственного университета. Научные интересы: физика когнитивных систем, алгоритмы кодирования и распознавания сенсорной информации, динамика функциональных состояний, разработка информационных технологий для персонализированной диагностики и оптимизаций когнитивного потенциала и адаптационных процессов. Автор более 300 научных публикаций и 10 патентов РФ.

Россия, 603022 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
E-mail: s453383@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3896-787X
AuthorID (eLibrary.Ru): 77263
WOS Research ID: C-7512-2012
Scopus Author ID: 6504648647

Халак Мария Евгеньевна — родилась в Горьком (1982). Кандидат психологических наук, ассистент кафедры общей и клинической психологии ПИМУ, старший преподаватель кафедры психофизиологии ННГУ им. Н. И. Лобачевского. Сфера профессиональной деятельности: кризисный психолог, нейропсихолог, специалист по сопровождению семей, имеющих детей с особенностями развития, системный семейный психолог. Область научных интересов: психофизиология, нейропсихология, клиническая психология, психологическое сопровождение реабилитации, нейробиоуправление, биоэтика.

603950 Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1
Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава РФ
E-mail: m-e-h@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1897-8894
AuthorID (eLibrary.Ru): 1070310
Scopus AuthorID: 57223427123

Липатов Кирилл Сергеевич — окончил Нижегородскую государственную медицинскую академию по специальности «терапия» (1996). Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. После окончания академии работал врачом-терапевтом (1996–1998), врачом-нефрологом (1998–2014), зам. главного врача КБ № 1 по медицинской части. В настоящее время — главный врач клинической больницы № 2, зав. центром амбулаторного диализа, ассистент кафедры выездного и инновационного обучения по интегрированным дисциплинам Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ «ГНЦ — ФМБЦ им. А. И. Бурназяна» ФМБА России. Область научных и практических интересов: нефрология; электронный документооборот, информатизация в здравоохранении. Автор более 28 научных работ по различным аспектам нефрологии и организации здравоохранения. Имеет 1 патент на изобретение.

Россия, 603032 Нижний Новгород, ул. Гончарова, 1д
Клиническая больница № 2 Приволжского окружного медицинского центра ФМБА России
E-mail: kir_lipatov@rambler.ru
AuthorID (eLibrary.Ru): 1126811

Заречнова Наталья Владимировна — начальник центра анестезиологии и реанимации ГБУЗ НО «Нижегородский областной клинический онкологический диспансер», кандидат медицинских наук. Автор более 50 научных публикаций.

Россия, 603032 Нижний Новгород, ул. Гончарова, 1д
Клиническая больница № 2 Приволжского окружного медицинского центра ФМБА России
E-mail: nvzar@mail.ru
AuthorID (eLibrary.Ru): 604559

Циркова Мария Михайловна — родилась в Горьком (1985). Психолог Отделения медицинской реабилитации КБ № 2 ПОМЦ ФМБА России. Профессиональная деятельность: нейропсихологическая диагностика когнитивных функций, программы когнитивной реабилитации, индивидуальные занятия по восстановлению нарушенных когнитивных функций, мониторинг динамики восстановления когнитивных функций в процессе комплексной реабилитации, работа с родственниками пациентов (создание дома адекватной среды для полноценного восстановления когнитивных функций или компенсации необратимых нарушений, использование компенсаторных стратегий в повседневной жизни). Область научных интересов: нейропсихология, клиническая психофизиология, нейрореабилитация.

Россия, 603022 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
Россия, 603032 Нижний Новгород, ул. Гончарова, 1д
Клиническая больница № 2 Приволжского окружного медицинского центра ФМБА России
E-mail: cirkova_mariya@mail.ru

Еремин Евгений Викторович — родился в Горьком (1977). Окончил радиофизический факультет ННГУ по направлению «Физика в медицине и экологии». Младший научный сотрудник кафедры психофизиологии факультета социальных наук ННГУ им. Лобачевского. Является автором более 30 научных публикаций в российских и международных изданиях. Область научных интересов: физика, математика, анализ сердечного ритма.

Россия, 603022 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
E-mail: eugenevc@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5707-6063
AuthorID (eLibrary.Ru): 128231
Scopus Author ID: 57196752333

Буланов Никита Алексеевич — аспирант 2 года обучения НИУ «Высшая школа экономики».

Россия, 101000 Москва, Мясницкая улица, 20
НИУ «Высшая Школа Экономики»
E-mail: nikbulanov@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5194-5707