

Нейросетевой классификатор ЭЭГ людей, перенесших и не перенесших COVID-19

А. Зубов¹
М. Исаева²
А. Бернадотт³

Бинарный классификатор, основанный на свёрточной и рекуррентной нейронной сети, показал точность, равную в среднем 60%, с максимальным значением 78,9% при классификации данных ЭЭГ от людей, перенесших SARS-CoV-2 (COVID-19) и людей, которые не имели перенесенного диагностированного COVID-19. Полученные данные подтверждают гипотезу о наличии определенных паттернов электрической активности мозга у людей, перенесших SARS-CoV-2 (COVID-19). *Keywords:* COVID-19, ЭЭГ, нейронные сети, SARS-CoV-2

1. Введение

Разработка нейроинтерфейсов часто сопряжена с выявлением особых неврологических состояний испытуемых. В своем исследовании по разработке неинвазивного интерфейса мозг-компьютер, использующего 8

¹ *Зубов Александр* — аспирант каф. инженерной кибернетики в МИСиС, e-mail: AIZubov@sberbank.ru ; разработчик в управлении экспериментальных систем машинного обучения департамента SberDevices, Сбер.

Zubov Aleksandr — developer at at Experimental ML Systems Subdivision, SberDevices, PJSC Sberbank; graduate student, Department of Information Technologies and Computer Sciences, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS).

² *Исаева Марина* — аспирантка каф. инженерной кибернетики в МИСиС, e-mail: isaevam.ec@gmail.com ; разработчик в управлении экспериментальных систем машинного обучения департамента SberDevices, Сбер.

Isaeva Marina — developer at at Experimental ML Systems Subdivision, SberDevices, PJSC Sberbank; graduate student, Department of Information Technologies and Computer Sciences, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS).

³ *Бернадотт Александра* — исполнительный директор и лидер команды в управлении экспериментальных систем машинного обучения департамента SberDevices, Сбер; доцент каф. инженерной кибернетики в МИСиС; аспирантка каф. математической теории интеллектуальных систем мех.-мат. ф-та МГУ, e-mail: bernadotte.alexandra@intsys.msu.ru.

Bernadotte Alexandra — Executive Director at Experimental ML Systems Subdivision, SberDevices, PJSC Sberbank; assistant professor, Department of Information Technologies and Computer Sciences, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS); graduate student, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Mechanics and Mathematics, Chair of Mathematical Theory of Intellectual Systems.

ментальных команд направления движения для взаимодействия с периферийными устройствами, мы столкнулись с особенностями сигнала у пользователей, перенесших SARS-CoV-2 (COVID-19). Для выявления особенностей электрической активности мозга у переболевших людей и научной поддержки необходимости вакцинации мы провели исследование, косвенно подтверждающее неврологические последствия перенесенного SARS-CoV-2 (COVID-19).

На текущий момент известно 7 человеческих коронавирусов, некоторые из них ассоциированы с острыми, в большинстве, респираторными заболеваниями: ближневосточный респираторный синдром (MERS-CoV), SARS-CoV-1, SARS-CoV-2. Для некоторых коронавирусов таких, как HCoV-229E, HCoV-OC43, SARS-CoV-1 и SARS-CoV-2 (COVID-19), показана связь с неврологическими осложнениями. РНК HCoV-229E и HCoV-OC43 определяются в мозговой ткани пациентов с диагностированным рассеянным склерозом в больших концентрациях, чем у доноров без поставленного диагноза [1]. В 2020 году было показано, что повреждение нейронов могут быть вызваны прямым взаимодействием с вирусом SARS-CoV-2 (COVID-19), и коррелируют с симптомами миелита, энцефалита, менингита, энцефалопатии, нарушений мозгового кровообращения [2].

В нашем исследовании мы хотели бы изучить особенности электрической активности мозга после перенесенной инфекции, вызванной вирусом SARS-CoV-2 (COVID-19) по данным электроэнцефалографии (ЭЭГ). Данный метод может являться вспомогательным неинвазивным скрининговым методом для оценки неврологических последствий перенесенной инфекции.

Таким образом, целью нашего исследования является проверка следующей гипотезы: данные электрической активности мозга от испытуемых, перенесших SARS-CoV-2 (COVID-19), и данные от испытуемых не переболевших SARS-CoV-2 (COVID-19) обладают признаками, выявляемыми с помощью бинарного классификатора на основе конволюционной и рекуррентной нейронной сети.

Данная гипотеза косвенно подтверждает наличие неврологических последствий перенесенного SARS-CoV-2 (COVID-19).

2. Методы

Данные для исследования были получены методом ЭЭГ на 32 безгелевых электродах, схема позиционирования электродов — 10-20. Запись данных осуществлялась с помощью двух модулей Cyton OpenBCI и собственного модуля оцифровки и преобразования сигнала. Частота дискретизации сигнала составляла 250 Гц.

Эксперимент представлял собой следующее: испытуемым демонстрировались слова на мониторе (8 слов на русском языке) в течении 3 секунд с последующей паузой в виде черного экрана в 2 секунды; во время демонстрации испытуемых просили произносить слова внутренним голосом; во время эксперимента у испытуемых записывались данные ЭЭГ. Длительность эксперимента составляла 5 – 60 минут, в зависимости от индивидуального состояния и желания испытуемого.

Данные были размечены на данные от болевших (32 человека) и не болевших испытуемых (40 человек). Датасет планируется сделать публично доступным по лицензии FreeBSD 3 в ближайшее время. Обработка данных осуществлялась аналогично описанной нами ранее методике со следующими модификациями: дублирование каналов височных долей на начальной стадии для достижения исходной размерности 40 x 1024 [3]. В результате в обработанный вектор формата 256 x 256 вошли признаки частотного спектра, данные без обработки, значения медиан каналов речевого центра, компоненты глазного шума. Обработанные данные балансировали по количеству векторов в классах болевших и не болевших индивидов до получения равных значений. Выборку делили на обучающую (70% от всего объема), валидационную (20%) и тестовую (10%) выборки. В качестве модели для бинарного классификатора была выбрана свёрточная рекуррентная сеть ResNet18 с двумя слоями GRU (рекуррентный блок) [3]. При обучении модели использовали алгоритм Адам с параметром обучения 0.001, размер батча составлял 128 векторов, обучали не более 200 эпох.

3. Результаты

Модифицированный бинарный классификатор на основе конволюционной и рекуррентной нейронной сети, представленный нами ранее [3], показал среднюю точность классификации на переболевших и не переболевших испытуемых равную 60%, с максимальным значением 78.9%. Полученные данные подтверждают гипотезу об особенностях паттернов электрической активности мозга, свойственных людям, перенесшим SARS-CoV-2 (COVID-19).

4. Заключение

В своей работе мы подтвердили возможность использования нейросетевого алгоритма для выявления особенностей электрической активности мозга после перенесенного SARS-CoV-2 (COVID-19). Мы сформулировали и доказали гипотезу, косвенно подтверждающую наличие невро-

логических симптомов, выявляемых по ЭЭГ, у испытуемых перенесших SARS-CoV-2 (COVID-19). Мы показали возможность использования методов машинного обучения для выявления неврологических последствий SARS-CoV-2 (COVID-19) и продемонстрировали возможности неинвазивных нейроинтерфейсов на основе ЭЭГ для решения подобных задач. В дальнейшем мы планируем детальнее рассмотреть особенности электрической активности мозга для выявления частотных паттернов, паттернов асимметрии полушарий мозга, проблем латерального торможения и задержки вызванного потенциала у людей, перенесших SARS-CoV-2 (COVID-19).

Neural network classifier for EEG data from people who have undergone COVID-19 and have not
Zubov A., Isaeva M., Bernadotte A.

A binary classifier based on a convolutional and recurrent neural network, showed accuracy equal to 60% on average, with a maximum value of 78.9% when classifying EEG data from people who have undergone SARS-CoV-2 (COVID-19) and people who did not meet the SARS criteria. The data obtained support the hypothesis about the presence of the brain electrical activity patterns in people who have undergone SARS-CoV-2 (COVID-19).

Keywords: COVID-19, EEG, neural network, SARS-CoV-2

References

- [1] A. Salmi, B. Ziola, T. Hovi, and M. Reunanen., “Antibodies to coronaviruses OC43 and 229E in multiple sclerosis patients.”, *Neurology*, **32** (1982.), 292–295..
- [2] N. Arbour, R. Day, J. Newcombe, P.J. Talbot, “Neuroinvasion by human respiratory coronaviruses.”, *J Virol*, **74**:19 (2000), 8913–8921.
- [3] D. Vorontsova, I. Menshikov, A. Zubov, K. Orlov, P. Rikunov, E. Zvereva, L. Flitman, A. Lanikin, A. Sokolova, S. Markov, A. Bernadotte, “Silent EEG-Speech Recognition Using Convolutional and Recurrent Neural Network with 85% Accuracy of 9 Words Classification”, *Sensors*, **21**:20 (2021), 6744.