

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

Изучение особенностей когнитивной деятельности с помощью

название темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом

построения вызванных потенциалов по данным ЭЭГ

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента(ки) 4 курса 4041 группы
направления (специальности) 09.03.02 “Информационные системы и
технологии”

код и наименование направления (специальности)

Институт физики

наименование факультета, института, колледжа

Аверин Никита Валерьевич

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Сельский А. О.

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Короновский А. А.

инициалы, фамилия

Саратов 2024 год

Введение

Цель работы заключается в изучении и сравнении различий в вызванных потенциалах, включающих в себя компоненты P300 и N400, у пациентов с разной частотой и типом приступов мигрени, с помощью модуля MNE-Python и других библиотек. Данная работа направлена на выяснение влияния мигрени на когнитивные функции головного мозга человека. Далее, на основе анализа экстремумов (времени и амплитуды) компонентов P300 и N400, а также вычисления коэффициентов ϵ , отражающих средние характеристики этих компонентов, будет проведена попытка обнаружить возможное нарушение когнитивных функций у пациентов из-за мигрени. Так как обычно пациенты сами оценивают частоту своей мигрени, то из этого следует вывод, что такой способ оценки является субъективным, и он не может отражать точные данные о мигрени. Поэтому отсюда возникает потребность в некотором объективном методе обнаружения когнитивных нарушений. Таким образом, представленная работа стремится показать достоверный способ оценки частоты мигрени и вызванных ей нарушений когнитивного статуса, что подчёркивает актуальность исследования.

Актуальность данной работы состоит в том, что изучение влияния мигрени на когнитивные функции через анализ вызванных потенциалов может пролить свет на механизмы, лежащие в основе изменений в мозге при головных болях. Проведённая работа позволяет не только определить наличие связи между мигренью и ухудшением когнитивных функций, но и тем самым, подразумевая под собой объективный метод оценки когнитивных нарушений, предоставляет данные для будущих исследований для разработки методов лечения и диагностирования головных болей. В свете растущей проблемы мигрени и ее влияния на качество жизни, данное исследование имеет значительное практическое и теоретическое значение.

Работа опирается на такие ключевые понятия, как электроэнцефалография (ЭЭГ), вызванные потенциалы (ВП) и их компоненты, инструментарий модуля MNE-Python. Уделено отдельное внимание

перспективности и преимуществ ЭЭГ, а также как этот метод был использован в других исследованиях касательно хронических головных болей. Работа также обсуждает значимость и перспективы использования ЭЭГ и вызванных потенциалов для исследований активности мозга и когнитивных функций человека.

Работа состоит из 6 глав: введение, краткие сведения об электроэнцефалографии, вызванные потенциалы, использование модуля MNE, заключение и список литературы. Основные теоретические положения, стоящие за содержанием работы, изложены во второй и третьей главе, а уже практическая часть представлена в 4 главе.

Основное содержание работы

Вызванные потенциалы и ЭЭГ Электроэнцефалография (ЭЭГ) – это неинвазивный метод исследования электрической активности мозга. В общем случае регистрирующие электроды размещаются в определенных сегментах скальпа так, чтобы активность областей мозга, представляющая интерес в конкретном эксперименте, была зарегистрирована на многоканальной записи (электроэнцефалограмме), с обозначениями в соответствии с латинскими буквами [1]. Данный способ позволяет с помощью электродов оценить разницу потенциалов на различных токах скальпа, что является следствием работы головного мозга.

Вызванные потенциалы являются электрофизиологическими потенциалами, которые возникают в ответ на стимуляцию конкретного сенсорного входа, например зрительного, слухового или тактильного. Они отображают электрическую активность мозга, вызванную внешним стимулом, и используются для изучения функционирования центральной нервной системы [2].

Волна P3, также известная как P300, является одним из наиболее известных компонентов ERP и обычно достигает пика через 300-500 миллисекунд после стимула. Волна P3 связана с такими процессами, как внимание, рабочая память и принятие решений. На ее амплитуду могут влиять

такие факторы, как рельефность стимула, актуальность задачи и индивидуальные различия в когнитивных способностях. Многогранность этой формы волны подчеркивается двумя основными субкомпонентами - P3a и P3b. Первый сигнализирует о переключении внимания на новые или неожиданные стимулы, а второй - об обновлении контекста, восстановлении памяти и осознанном восприятии стимула. Помимо исследовательских целей, P300 находит практическое применение в клинических оценках, связанных с когнитивными функциями [3].

Другим важным компонентом ERP является волна N400, возникающая примерно через 300-500 миллисекунд после стимула, связана с семантической обработкой и чувствительна к манипуляциям, связанным с языком. LPC, которая обычно следует за волной P3, связана с эмоциональной обработкой и кодированием памяти. Он отражает реакцию мозга на мотивационные или аффективные аспекты стимула. Амплитуда и латентность N400 изменяются в зависимости от семантической предсказуемости, контекстуальных ограничений и индивидуального уровня владения языком. В центре внимания этого компонента находится семантическая интеграция, демонстрирующая способность мозга быстро объединять поступающие стимулы с уже существующими семантическими знаниями и ожиданиями. Его клиническое значение распространяется на исследования языковых нарушений, предлагая ценные сведения о таких состояниях, как афазия, расстройство аутистического спектра и специфические языковые нарушения [4].

Использование модуля MNE Для выполнения цели работы была разработана программа, которая проводит расчёт вызванных потенциалов и их показателей, а затем были изучены различия по времени и по амплитуде компонентов P300 и N400. Всего было проанализировано 24 эксперимента с устойчивыми вызванными зрительными потенциалами. Данные ЭЭГ были представлены для обработки коллегами из Саратовского Государственного Медицинского Университета. Программа предусматривает пользовательский ввод количества пациентов, количество папок с каналами и количество самих

каналов, а также частоту дискретизации для записей ЭЭГ. Чтобы сложить данные в список и создать объект сырых необработанных данных raw, используется небольшой цикл, который также проверяет соответствие размеров файлов. Далее данные разделяются на эпохи – сегментация на несколько различных частей, использующая в качестве опорной точки маркеры событий. Для сегментации сырых данных создаётся объект mne.Epochs, где используется массив "events" и словарь имен условий и соответствующих номеров триггеров [5]. Объект Evoked хранит данные в массиве формы (n_channels, n_times), отличаясь от объекта Epochs, который хранит данные формы (n_epochs, n_channels, n_times). Evoked Object содержит информацию о вызванных реакциях мозга на стимулы, облегчая анализы и визуализации. Вызванные ответы и потенциалы, связанные с событиями, представляют электрическую активность мозга, полученную усреднением сигналов по нескольким испытаниям [6].

Для каждой точки времени (300 мс и 400 мс) необходимо найти максимумы и минимумы, а затем выбрать соответствующие значения амплитуды. Результаты были записаны в отдельные текстовые файлы по каждому пациенту, содержащие значения времени и амплитуды для P300 и N400. Затем разработан алгоритм для подсчёта коэффициентов мигрени на основе этих значений. Алгоритм принимает на вход папку со всеми текстовыми файлами со значениями пиков P300 и N400. На выходе выводятся значения ϵ как для каждого канала, сохраняя их в списке, так и выводит усреднённые между собой коэффициенты для каждой пары файлов [7]. После того, как коэффициенты мигрени подсчитаны, необходимо было связать их с данными о пациентах (о частоте приступов мигрени).

№	Частота мигрени	Тип мигрени	Среднее ϵ
1	Частая	Без ауры	0,160
2	Частая	Без ауры	0,046
3	-	-	0,299
4	Хроническая	Без ауры	0,187
6	Частая	Без ауры	0,029
7	Хроническая	С аурой	0,117

8	Частая	Без ауры	0,061
9	Хроническая	Без ауры	0,074
11	Хроническая	С аурой	0,024
12	Частая	Без ауры	0,192
13	-	-	0,089
14	Частая	Без ауры	0,33
15	Частая	С аурой	0,277
16	Хроническая	Без ауры	0,014
17	Частая	Без ауры	0,317
18	Хроническая	Без ауры	0,118
19	Частая	Без ауры	0,086
20	Частая	Без ауры	0,061
21	Частая	С аурой	0,349
22	Хроническая	Без ауры	0,086
23	Хроническая	Без ауры	0,248
24	Хроническая	Без ауры	0,102

Рисунок 7 – Таблица результатов вычисления коэффициентов ε вместе с дополнительными сведениями о типах мигрени пациентов

На основании представленной таблицы можно сделать несколько выводов:

1. Наблюдается значительный разброс значений ε среди участников. При этом, значения коэффициента ε имеют некоторую корреляцию с частотой приступов и типом мигрени. Например, средние значения ε у пациентов с хронической мигренью на первый взгляд кажутся более малыми, чем у пациентов с частой мигренью. Это может быть связано с более сильным воздействием хронической мигрени на когнитивные функции пациентов.
2. Коэффициент ε также разнится в зависимости от присутствия ауры, но в среднем, он в этом случае выше, чем у людей без ауры. Это даёт предположение о возможно более выраженном влиянии мигрени с аурой на функции мозга, чем мигрени без ауры. Однако, из-за малого количества данных о мигрени с аурой, делать окончательные выводы не предоставляется возможным. Исходя из медицинских соображений, а также из-за малого числа данных в выборке пациентов, случаи с присутствием ауры не будут включены в дальнейшее рассмотрение.

Для дальнейшей проверки гипотезы необходимо провести расчёт основных статистических характеристик итоговых данных. Прежде всего нужно подразделить данные на категории – разобьём на 2 группы по частоте мигрени (частая и хроническая). Пациентов с неизвестными данными о частоте и типе мигрени также придётся исключить из общих подсчётов.

	Хроническая мигрень	Частая мигрень
Среднее значение	0.118	0.143
Медиана	0.101	0.086
Стандартное отклонение	0.077	0.116
Минимальное значение	0.015	0.029
Максимальное значение	0.248	0.334

Рисунок 8 – Таблица статистик для групп с хронической и частой мигренью

Данная таблица демонстрирует некоторые различия в базовых статистических характеристиках. Исходя из этого, можно выдвинуть следующие предположения: во-первых, среднее значение коэффициента ε у группы с хронической мигренью ниже, чем у группы с частой мигренью, что может указывать на вид изначальных вызванных потенциалов, где пики P300 и N400, судя по всему, были ниже и соответственно была менее интенсивной реакция на стимулы в оригинальном эксперименте. Во-вторых, медианное значение коэффициента в группе с хронической мигренью также смещены в сторону более низких показателей, подтверждая вышеупомянутое предположение о более значительном воздействии хронической мигрени на когнитивные функции у первой группы. В-третьих, стандартное отклонение в группе с хронической мигренью меньше, чем в группе с частой мигренью, что свидетельствует о меньшей вариативности данных в первой группе. Это может указывать на более однородную когнитивную реакцию участников с хронической мигренью по сравнению с более разнообразным выражением у пациентов с частой мигренью. Разброс минимально и максимально

зафиксированных значений коэффициента в обеих группах также заслуживает внимания, так как максимум у группы с частой мигренью является значительно более высоким, что может свидетельствовать о допустимом наличии отдельных случаев с высоким уровнем когнитивной функции, несмотря на частые головные боли. В дополнение к этому, наличие более низкого среднего значения в группе хронической мигрени предполагает, что её влияние на снижение когнитивных функций может быть более значительным в общем. Кроме того, нужно учесть, что информация о частоте мигрени берется из опросников пациентов и может быть не вполне достоверной, так как зависит от добросовестности записей пациента.

Исходя из итоговых данных, можно сделать вывод, что первоначальные ожидания об изменчивости вызванных потенциалов в зависимости от частоты приступов мигрени были оправданы. Можно предположить, что хроническая мигрень имеет более выраженное негативное влияние на вызванные потенциалы головного мозга и, как следствие, на когнитивные функции человека, по сравнению с частой мигренью. Однако большая вариативность и малая размерность данных подчеркивает необходимость дальнейшего изучения этого вопроса для более точного определения механизмов оценки типа мигрени.

Заключение

В рамках выполнения дипломной работы можно отметить, что результаты исследования подтвердили гипотезу о связи между мигренью и ухудшением когнитивных функций у пациентов. Анализ вызванных потенциалов головного мозга, основанный на компонентах P300 и N400, выявил предполагаемое уменьшение когнитивных функций у пациентов, страдающих хронической мигренью, по сравнению с пациентами с частой мигренью. Эти результаты свидетельствуют о значительном влиянии хронической боли на когнитивные функции.

Кроме того, в работе был рассмотрен и использован модуль языка Python MNE. Данная библиотека обеспечивает мощный и гибкий инструментарий для

анализа данных ЭЭГ и вызванных потенциалов, позволяя исследователям и специалистам в области нейронауки эффективно исследовать сложные нейрофизиологические данные.

В ходе проведённой работы были выявлены основные преимущества и плюсы MNE: это всеобъемлющая функциональность, открытый исходный код и совместимость с другими полезными пакетами Python. Однако, как и с любым другим инструментом исследования, при освоении модуля MNE могут возникнуть трудности. К числу возможных трудностей относятся: ограниченная документация. Хотя MNE имеет обширную документацию на официальном сайте, но некоторые пользователи могут обнаружить, что она не всегда достаточно ясна и полна, чтобы ответить на все вопросы. Кроме того, анализ данных ЭЭГ и МЭГ может требовать больших вычислительных затрат, поэтому для эффективной работы модуля MNE необходим мощный компьютер с большим объёмом памяти. Также стоит сделать замечание, что предварительная обработка данных ЭЭГ и МЭГ и их дальнейший анализ могут занимать много времени и это, конечно же, требует хорошего понимания методов обработки сигналов.

В завершение хотелось бы отметить, что полученные выводы могут служить основой для разработки более эффективных методов лечения и управления мигреневыми головными болями, возможно направленных не только на уменьшение болевого синдрома, но и на сохранение когнитивных способностей пациентов. Данная работа также подчеркивает важность комплексного подхода к работе с данными ЭЭГ, включающего и начальную постановку задачи, промежуточные результаты и итоговые выводы.

Список источников

[1]. Лекция 1. Электроэнцефалография // [Электронный ресурс]. URL: https://krascpk.ru/images/files/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%201_%20%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%8D%D0%BD%D1%86%D0%B5%D1%84%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F.pdf (дата обращения: 01.05.2024).

[2]. Исайчев Е. С. и др. Диагностика скрываемой информации на основе анализа когнитивных вызванных потенциалов мозга человека // Национальный психологический журнал. – 2011. – №. 1. – С. 70-77.

[3]. Picton T. W. et al. The P300 wave of the human event-related potential // Journal of clinical neurophysiology. – 1992. – Т. 9. – С. 456-456.

[4]. Kiang M., Gerritsen C. J. The N400 event-related brain potential response: a window on deficits in predicting meaning in schizophrenia // International Journal of Psychophysiology. – 2019. – Т. 145. – С. 65-69.

[5]. Neural Oscillations. MNE-Python Tutorial for EEG and MEG data analysis and visualization. // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=sttf-Rgfl1Q> (дата обращения: 26.05.2023).

[6]. Segmentation into ERP epochs // [Электронный ресурс]. URL: https://neuraldatascience.io/7-ee/erp_segmentation.html (дата обращения: 26.05.2023).

[7]. Zhuravlev M. et al. The objective assessment of event-related potentials: an influence of chronic pain on ERP parameters // Neuroscience Bulletin. – 2023. – Т. 39. – №. 7. – С. 1105-1116.