

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

INFORMATION
TECHNOLOGIES
AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.89

DOI: 10.17212/2782-2001-2024-3-39-54

Анализ электрической активности различных областей головного мозга для оценки различий функциональных состояний человека^{*}

Э.В. ГЛЕКЛЕР

199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В. О., 39, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

eduard.glekler@yandex.ru

В работе представлена оценка возможности применения различных отведений при расчете метрик сигнала электроэнцефалограммы для использования с целью поиска отличий сигнала электроэнцефалограммы человека в состоянии концентрации и состоянии свободного блуждания ума. Отведения и метрики выбраны на основе приведенного анализа работ по теме распознавания и оценки различных состояний человека, подобных состоянию концентрации. Приведены практические способы вычисления выбранных метрик мощности и энтропии сигнала в различных частотных диапазонах. В работе используется уникальный набор данных, содержащий записи электроэнцефалограммы для функциональных состояний концентрации на точке в центре лба и фонового состояния свободного блуждания ума, включающий в себя записи 17 участников. Оценка применимости отведений осуществлена на основе коэффициента точечной бисериальной корреляции значений метрик с функциональными состояниями, а также аналогичного показателя, основанного на разности межквартильных расстояний значений метрик. Показано, что наиболее перспективными для применения являются префронтальные отведения для расчета метрики энтропии сигнала в диапазоне от 0,3 до 30 Гц и затылочные отведения для расчета спектральных метрик мощности в α - и θ -диапазонах. Для ряда метрик значимыми являются не только абсолютные значения, но и их отношения для различных областей головного мозга (префронтальной, центральной и затылочной). Среди относительных величин наиболее перспективным является отношение значений метрик на префронтальных отведениях к соответствующим значениям на затылочных отведениях. Эти метрики на рассмотренных отведениях показывают значимые, но разнонаправленные изменения между функциональными состояниями для участников в выборке.

Ключевые слова: отведения электроэнцефалограммы, концентрация, спектральный анализ, энтропия, функциональные состояния, области головного мозга, метрики электроэнцефалограммы, свободное блуждание ума

^{*} Статья получена 02 апреля 2024 г.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ электроэнцефалограммы (ЭЭГ) – один из наиболее широко используемых способов, применимых при анализе различных функциональных состояний человека, для распознавания и оценки которых не требуется высокого пространственного разрешения считываемого сигнала. Так, в работе устройств, предназначенных для персонального использования, таких как Muse [1], Emotiv [2] и другие, используется относительно малое количество отведений для оценки качества выполнения различных практик саморегуляции, концентрации, медитации и др.

Вместе с тем в научных работах, связанных с распознаванием состояния концентрации и других подобных состояний на основе различных метрик, для их вычисления используются различные, часто непересекающиеся наборы отведений (раздел 1).

В связи с этим возникает необходимость оценки оптимальности различных отведений ЭЭГ для использования в целях распознавания состояния концентрации с применением различных его метрик и набора данных, включающего как можно большее число отведений для различных областей скальпа.

Работа состоит из четырех разделов. В разделе 1 приведен обзор актуальных работ, связанных с распознаванием и оценкой состояния концентрации и иных схожих функциональных состояний с целью рассмотрения используемых в этих работах отведений ЭЭГ. В разделе 2 приведено описание подхода к оценке оптимальности использования отведений сигнала ЭЭГ для расчета различных метрик состояния концентрации, выявленных на основе рассмотренных работ. В разделе 3 приведено описание набора данных, использованного для оценки оптимальности рассматриваемых отведений. В разделе 4 приведено описание результатов работы: оценка оптимальности использования отведений, полученная путем вычисления различных метрик концентрации для сигнала с этих отведений; анализ полученных результатов; перспективы использования различных групп отведений в связке с различными метриками состояния концентрации.

1. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТРИКИ СОСТОЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ОТВЕДЕНИЯ

В этом разделе приведен обзор работ, связанных с распознаванием и оценкой степени концентрации человека или схожих процессов, включающий анализ используемых в этих работах наборов отведений сигнала ЭЭГ, записанного с использованием гелевых или сухих электродов на взрослых, здоровых участниках.

Так, в работе [3] используются два префронтальных симметричных по расположению отведения для расчета спектральных метрик сигнала, в то время как в работе [4] используется всего одно отведение, соответствующее точке в центре надбровной дуги, используемое для расчета различных неспектральных метрик, таких как показатель энтропии сигнала и др.

В работе [5] показана возможность использования одного префронтального отведения для оценки состояния концентрации на основе неспектральных (в ходе решения логической задачи) без значительных потерь в точности относительно 63 отведений, распределенных по всей поверхности скальпа.

Кроме того, в работах [6, 7], в которых используются 14 и 8 отведений соответственно, отдельно отмечена значимость некоторых спектральных метрик именно на префронтальных отведениях. Вместе с тем в работах [8, 9], в которых используются 6 и 8 отведений соответственно, подобной особенности отмечено не было. Однако в работе [10] используются исключительно два префронтальных канала для расчета спектральной метрики в ходе выполнения участниками задачи на концентрацию, аналогичной одной из метрик, используемых в работе [9].

Стоит отметить, что в работах [11, 12, 13 и 14], в рамках которых исследуется процесс *mindfulness*-медитации, более схожий с рассматриваемым в этой работе состоянием концентрации, вне зависимости от числа используемых отведений (4, 14, 32 и 32 соответственно), не отмечается каких-либо особенностей влияния этого состояния отдельно на префронтальные отведения.

Таким образом, ни в одной из рассмотренных работ не отмечена значимость использования каких-либо отведений, помимо префронтальных, а в части из них используются исключительно префронтальные отведения. Вместе с тем в работах, связанных с распознаванием и оценкой состояния *mindfulness*-медитации, используется множество различных отведений по всей поверхности скальпа, и префронтальные отведения никак не выделяются на их фоне.

2. ПОДХОД

На основе рассмотренных ранее работ для анализа в рамках настоящей статьи были выбраны следующие группы отведений в соответствии с используемым монтажом 1020 (рис. 1):

- префронтальные: *F3*, *Fz*, *F4*;
- центральные: *C3*, *Cz*, *C4*;
- затылочные: *O1*, *O2*, *P3*, *P4*.

Поскольку в данной работе не применяются методы предварительного удаления артефактов сигнала, вместо используемых в ряде рассмотренных работ префронтальных отведений *Fp1* и *Fp2* были выбраны менее подверженные влиянию артефактов отведения *F3*, *Fz*, *F4*.

Центральные и затылочные отведения в среднем менее подвержены влиянию артефактов, связанных с движением глаз [15]. Кроме того, в силу условий эксперимента в сигнале отсутствуют артефакты, связанные с морганием.

На рис. 2 представлен подход к оценке корреляции значений метрик, выявленных в ходе обзора, с классами состояния концентрации и фонового состояния.

Можно видеть, что вычисляемые метрики делятся на две группы: спектральные метрики мощности сигнала в различных частотных диапазонах и метрики энтропии сигнала в тех же диапазонах, а также общий показатель энтропии на рассматриваемом диапазоне от 0,3 до 30 Гц.

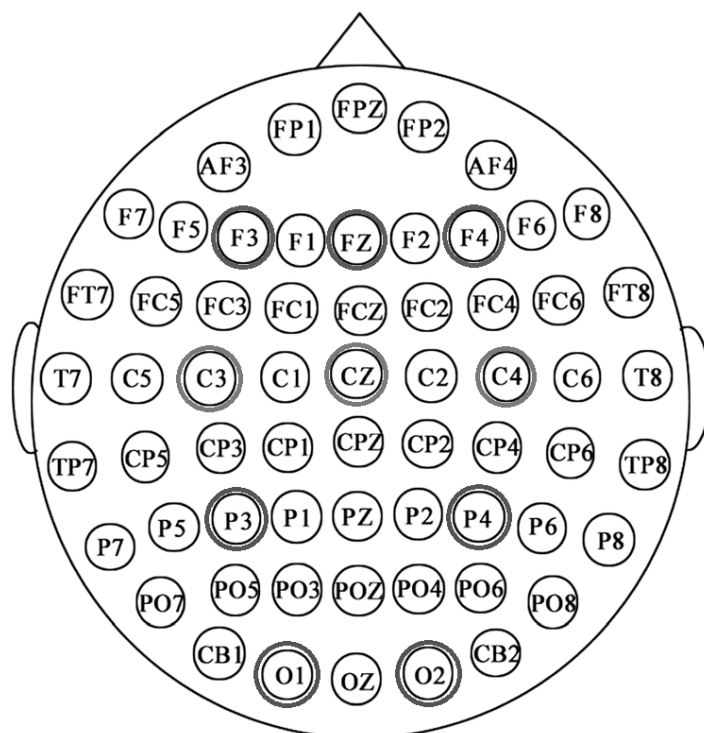


Рис. 1. Позиции отведений

Fig. 1. Positions of electrodes

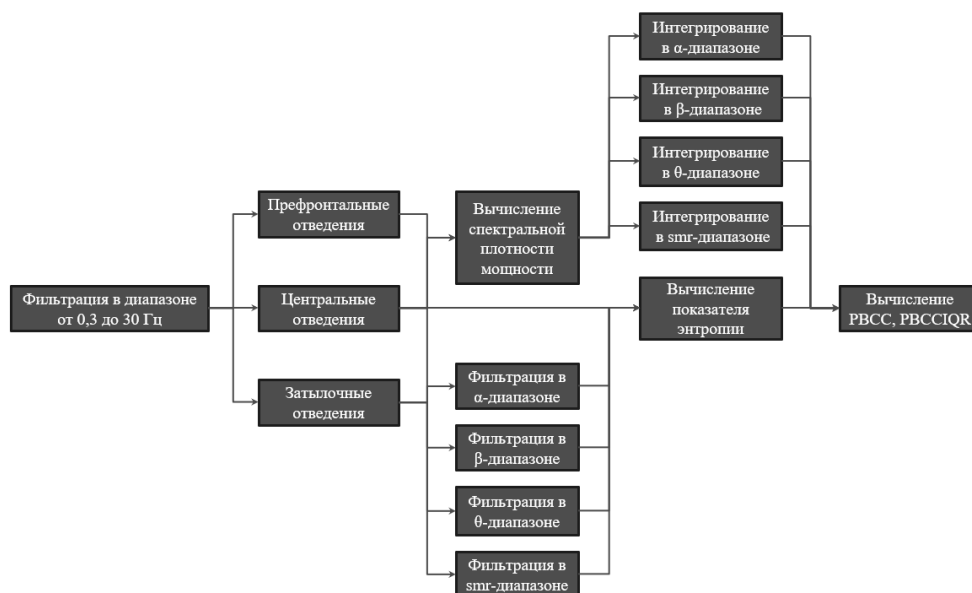


Рис. 2. Вычисление корреляций

Fig. 2. Correlation calculation

Для расчета спектральных метрик предварительно вычисляется функция спектральной плотности мощности с использованием метода Уэлча [16] на эпохах длиной 2 секунды, достаточной с учетом рассматриваемых диапазонов: θ (от 4 до 8 Гц), α (от 8 до 13 Гц), SMR (от 12 до 15 Гц), β (нижняя часть, от 13 до 20 Гц), после чего для вычисления мощности эта функция интегрируется на рассматриваемых диапазонах. Перед вычислением метрик энтропии осуществляется фильтрация сигнала в тех же диапазонах с использованием фильтра с конечной импульсной характеристикой (этот же фильтр был применен перед вычислением всех рассматриваемых метрик).

Показатель энтропии вычисляется по формулам:

$$A(m, r) = \sum C(i, r, m); \quad (1)$$

$$SampEn = -\log \left(\frac{A(m, r)}{A(m+1, r)} \right), \quad (2)$$

где $C(i, r, m)$ – количество векторов длиной m , состоящих из последовательно идущих значений сигнала, схожих с i -м вектором сигнала (включая частично перекрывающиеся вектора). Здесь схожесть понимается как расстояние между векторами, не превышающее величины r . В соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [17], параметр r в настоящей работе принимается равным среднеквадратическому отклонению (для расстояния, взятого по Чебышеву, $m = 5$). *SampEn* (sample entropy) – используемая в настоящей работе оценка показателя энтропии, имеющая меньшее смещение в сравнении с альтернативами [17].

Для оценки возможности применения сигнала ЭЭГ с различных отведений при расчете рассматриваемых метрик в целях распознавания состояния концентрации был использован коэффициент точечной бисериальной корреляции (*PBCC*, point-biserial correlation coefficient) [18], позволяющий оценить степень различий между двумя классами (состоянием концентрации и фоновым состоянием) и рассчитываемый по формуле (3). Кроме того, для оценки различий не только по математическому ожиданию, но и по межквартильному расстоянию (*IQR*, interquartile range) для элементов этих классов и для всех метрик был дополнительно рассчитан предложенный автором показатель *PBCCIQR*, рассчитываемый по формуле (4) аналогично формуле (3):

$$PBCC = \frac{M_1 - M_0}{s_{n-1}} \sqrt{\frac{n_1 n_0}{n(n-1)}}; \quad (3)$$

$$PBCCIQR = \frac{IQR_1 - IQR_0}{s_{n-1}} \sqrt{\frac{n_1 n_0}{n(n-1)}}, \quad (4)$$

где M_1 и M_0 – математические ожидания для значений двух классов; IQR_1 и IQR_0 – межквартильные расстояния для значений двух классов;

n_1 и n_0 – их количество в выборке; n – общий объем выборки; s_{n-1} – несмещенная оценка среднеквадратического отклонения для всей выборки.

Эти показатели были вычислены для усредненных в рамках определенных групп отведений значений метрик и их отношений. В целях дополнительного снижения влияния артефактов при расчете показателей $PBCC$ и $PBCCIQR$ предложено не учитывать 2,5 % минимальных и максимальных значений используемых метрик.

3. НАБОР ДАННЫХ

Для определения оптимальности применения различных групп отведений использовался уникальный набор данных ЭЭГ 17 здоровых взрослых участников (7 мужчин и 10 женщин) с опытом концентрации (среди имевших практику концентрации) не менее года (возраст от 20 до 53 лет, средний возраст – 36 лет; опыт от одного года до 30 лет, средний опыт – 8 лет); ЭЭГ записывалась на 63 отведениях (монтаж (вариант размещения отведений на поверхности головы, см. рис. 1) – 1020, частота дискретизации 2048 Гц). В работе использовались три префронтальных ($F3$, Fz , $F4$), 3 центральных ($C3$, Cz , $C4$) и 4 затылочных ($O1$, $O2$, $P3$, $P4$) отведения. Каждая запись содержала 15 минут состояния концентрации, в рамках которого участники должны были сосредоточить внимание на центре лба и возвращаться к этой точке при отвлечении, и 10 минут свободного блуждания ума, в рамках которого участники должны были позволить мыслям свободно сменять друг друга. Участники сидели с закрытыми глазами в одинаковых условиях, различие заключалось только в фокусе внимания. Для некоторых участников было собрано несколько записей ЭЭГ (всего 23 записи). После каждой записи они заполняли опросник, в котором указывали данные о своем опыте концентрации и количестве часов сна накануне, а также субъективно оценивали качество концентрации, мысленно разбив ее на четверти и отдельно оценив степень выраженности концентрации для каждой из них по десятибалльной шкале, где 1 – полное отсутствие концентрации, 10 – наилучшая концентрация.

Следует учитывать, что исследования в области распознавания состояния концентрации и медитации обычно имеют относительно небольшую выборку в силу сложности набора участников, имеющих достаточный опыт в таких практиках. Так, среди 12 работ, рассмотренных в разделе 1, 4 работы имеют выборку меньше 17 человек, причем большинство работ, имеющих большую выборку, для участия в исследовании принимают людей, не имеющих значительного опыта в практике концентрации. Значительная разница в возрасте между участниками такого исследования обусловлена теми же причинами, однако потенциальное влияние этого фактора на значения рассматриваемых метрик не было отмечено ни в одной из рассмотренных работ.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3 представлена матрица значений коэффициента корреляции для рассматриваемых метрик, собранных в состоянии свободного блуждания ума, а также во второй и третьей четвертях состояния концентрации. Столбцы отсортированы по убыванию среднего по модулю значения метрик, указанного в строке *AVG*. Строки отсортированы по участникам (название строки соответствует индексу участника, записи одного участника идут подряд). Индекс записи обозначен в столбце *rec_id*. В столбцах *exp*, *points* и *max_cor* указаны опыт участника, средняя субъективная оценка качества концентрации за вторую и третью четверти, а также максимальный коэффициент корреляции среди всех метрик. Значение «0» в столбце *points* означает, что участник не смог оценить качество концентрации, а значение «-1» – что инструкции были выполнены участником некорректно. Остальные столбцы содержат значения коэффициента корреляции *PBCC* для метрик энтропии *ent* и мощности *pow* в диапазонах α (*a*), β (*b20*), θ (*th*) и *SMR* (*smr*). Также указаны значения *PBCCIQR* (помечены *). Например, столбец *b20_ent** соответствует *PBCCIQR* для метрики энтропии в β -диапазоне, а *smr_pow* соответствует *PBCC* для метрики мощности в *SMR*-диапазоне.

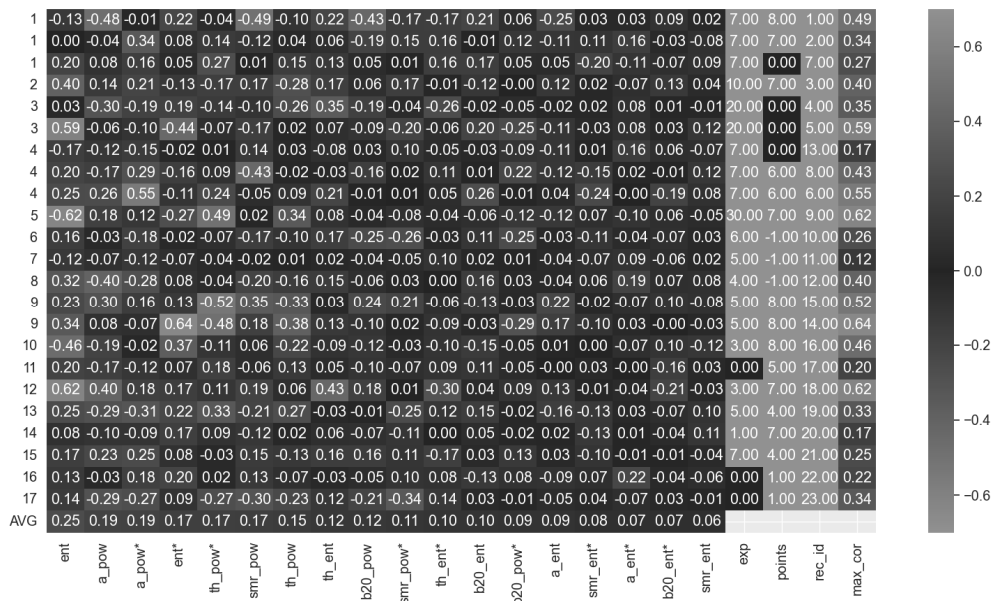


Рис. 3. Матрица корреляций

Fig. 3. Correlation matrix

Можно видеть, что наибольшие различия между классами наблюдаются по метрикам энтропии и некоторым из спектральных метрик. Метрики энтропии в отдельных частотных диапазонах не демонстрируют существенных различий.

Аналогичная матрица была построена для префронтальных, центральных и затылочных отведений (рис. 4, 5 и 6 соответственно).

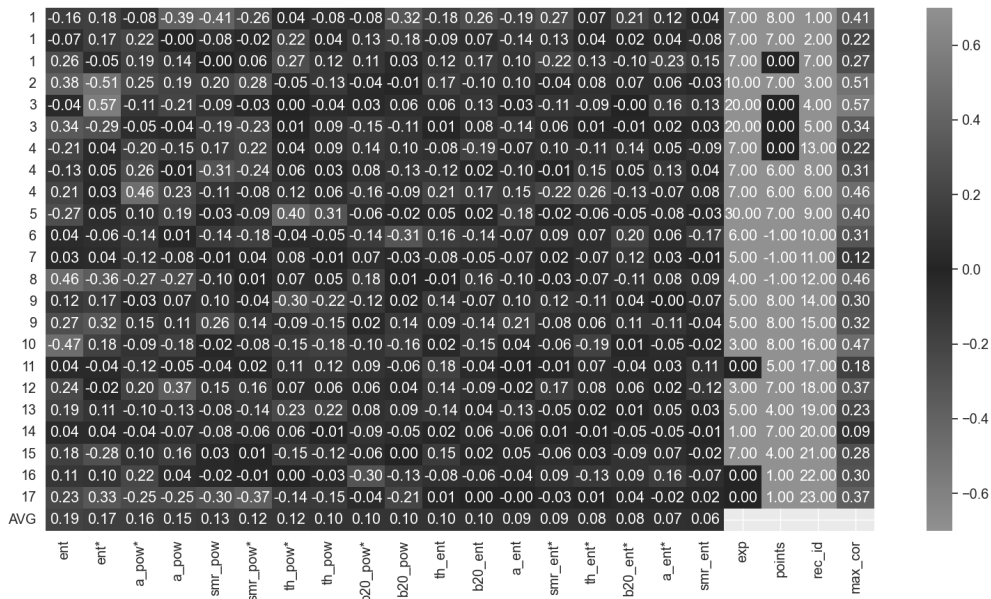


Рис. 4. Матрица корреляций (префронтальные отведения)

Fig. 4. Correlation matrix (prefrontal channels)

Хотя корреляции значений метрик на префронтальных отведениях в рамках некоторых отдельных записей существенно выше соответствующих значений на всех отведениях, видно, что средние их значения не имеют значимых отличий.

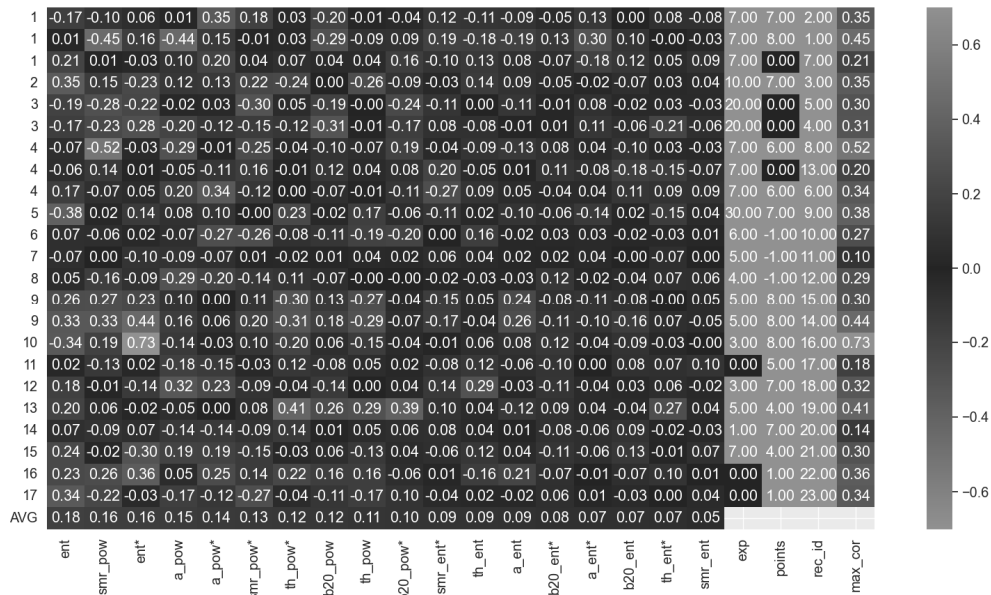


Рис. 5. Матрица корреляций (центральные отведения)

Fig. 5. Correlation matrix (central channels)

Различия между классами в рамках центральных отведений наименее значимы среди всех рассмотренных.

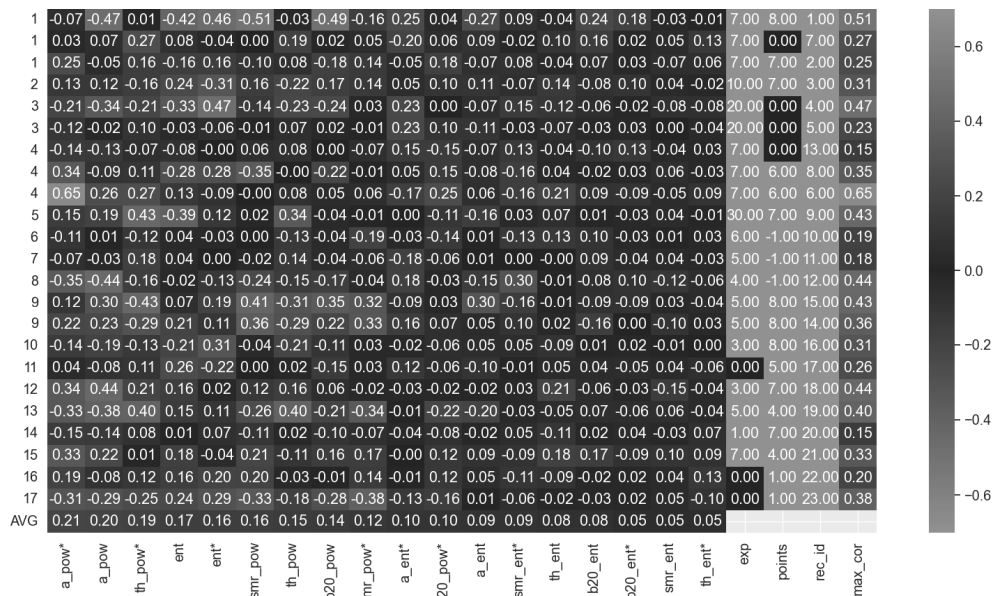


Рис. 6. Матрица корреляций (затылочные отведения)

Fig. 6. Correlation matrix (occipital channels)

Для затылочных отведений можно видеть относительное повышение значимости метрики мощности в α -диапазоне, что является ожидаемым результатом с учетом типичных для этого диапазона особенностей пространственного распределения [15].

Средняя точность некоторых метрик для затылочных отведений незначительно превышает аналогичный показатель для префронтальных отведений, что слабо согласуется с результатами ранее приведенного обзора используемых отведений. Однако следует учитывать, что абсолютные значения этих метрик зависят от функционального состояния (степени усталости, настроения и других факторов). По этой причине в большинстве рассмотренных работ использовались различного рода относительные величины, предположительно менее зависимые от подобного рода факторов. Одной из таких величин является отношение значений рассматриваемых метрик для различных групп отведений, которое в большей мере показывает особенности распределения электрической активности в мозге. На рис. 7, 8 и 9 представлены отношения значений метрик префронтальных отведений к центральным, префронтальных к затылочным и центральных к затылочным соответственно.

Можно видеть, что относительные величины для префронтальных отведений демонстрируют значительно большую степень корреляции, чем абсолютные, но не для наиболее значимой для префронтальных отведений метрики энтропии.

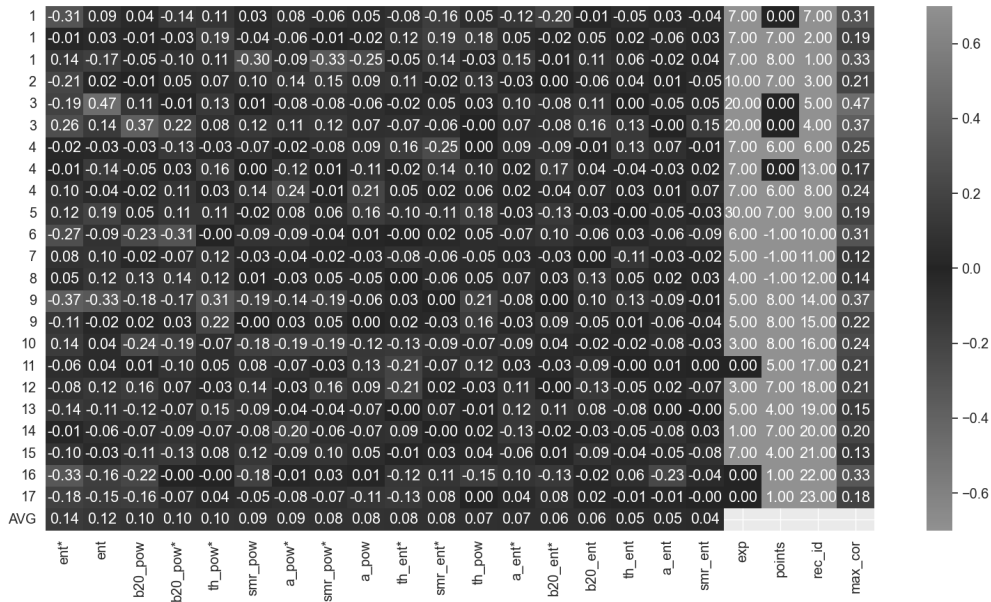


Рис. 7. Матрица корреляций (префронтальные отведения к центральным)

Fig. 7. Correlation matrix (prefrontal channels to central)

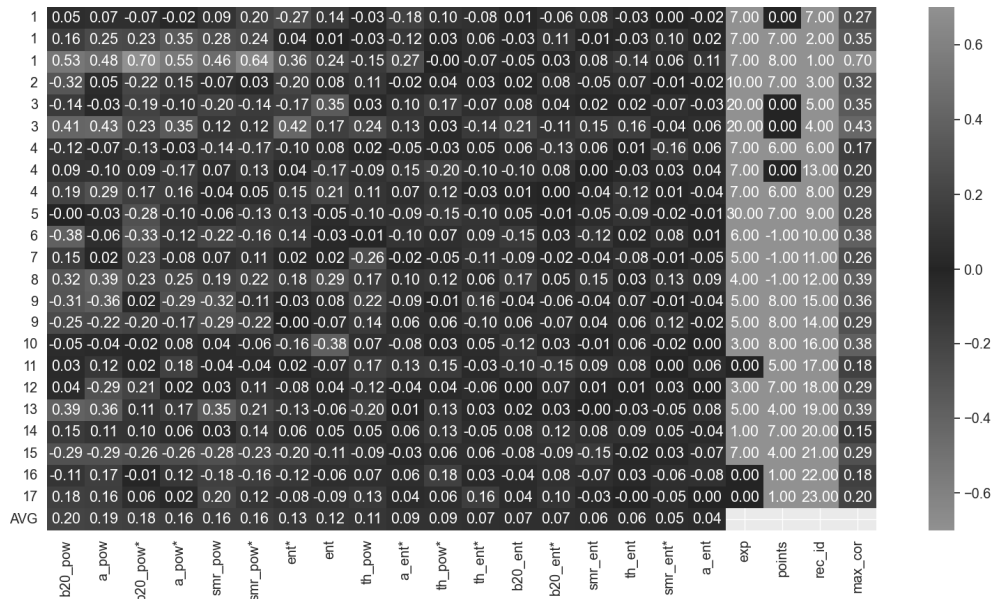


Рис. 8. Матрица корреляций (префронтальные отведения к затылочным)

Fig. 8. Correlation matrix (prefrontal channels to occipital ones)

Кроме того, эти значения в среднем ниже для отношения к центральным отведениям, чем к затылочным, что может объясняться меньшей зависимостью метрик центральных отведений от рассматриваемых функциональных состояний. Стоит отметить, что для некоторых спектральных метрик

(в частности, метрики мощности в β -диапазоне), эти различия наблюдаются в наибольшей степени – это согласуется с отмеченной значимостью спектральных метрик для затылочных отведений.

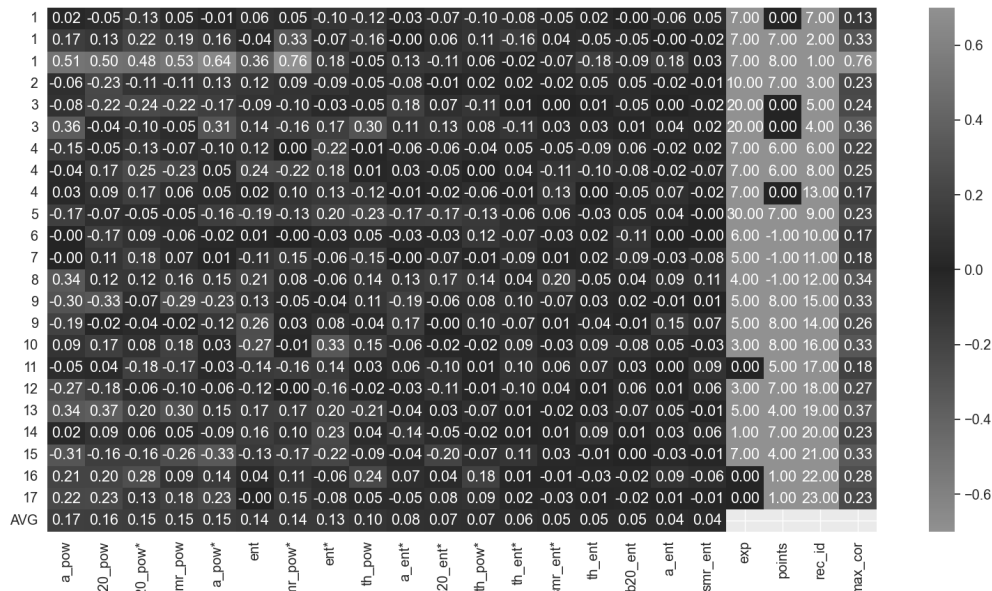


Рис. 9. Матрица корреляций (центральные отведения к затылочным)

Fig. 9. Correlation matrix (central channels to occipital ones)

Для отношения значений метрик центральных отведений к затылочным ожидаемо наблюдаются наименьшие средние значения корреляций.

Таким образом, результаты этой работы подтверждают значимость префронтальных отведений при расчете метрики энтропии и некоторых спектральных метрик для распознавания и оценки состояния концентрации. Это наблюдается в первую очередь для относительных величин этих метрик на префронтальных отведениях к затылочным. Вместе с тем затылочные отведения более значимы при расчете отдельных спектральных метрик, в частности метрик мощности в α - и β -диапазонах.

Несмотря на относительно малые средние значения корреляций метрик по всем записям, можно видеть, что максимальное значение корреляции среди всех метрик в рамках каждой отдельной записи (столбец max_cor) для большинства записей существенно выше. Иными словами, в рамках большинства записей наблюдаются значимые различия между классами хотя бы по одной из метрик, однако эти различия могут быть разнонаправлены для различных записей. Этот факт не позволяет осуществлять распознавание состояния концентрации на произвольном участке записи, однако при условии предварительной записи фоновое состояние для конкретного участника в рамках конкретного сеанса можно говорить о наличии или отсутствии отличий рассматриваемого состояния от фонового. Особенно это видно при рассмотрении записей участников, имеющих опыт более года, корректно выполнивших все

инструкции в рамках сеанса и давших высокую субъективную оценку достигнутого состояния концентрации (более 6 баллов). Всего для одной записи, соответствующей этим критериям, показатель максимальной корреляции, взятый для всех отведений, не превышает 0,4 (в этой записи участник отметил нестабильное качество концентрации по четвертям: 6, 8, 6 и 5), чего не наблюдается для большинства остальных записей. При рассмотрении метрик, взятых на префронтальных отведениях, и соответствующих им относительных величин к значениям для затылочных отведений наблюдаются аналогичные результаты. Хотя на затылочных отведениях показатель корреляции для ряда записей имеет большие значения в силу высоких значений отдельных спектральных метрик, в целом результаты для этих отведений существенно менее стабильны. Результаты для центральных отведений наименее значимы среди всех рассмотренных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был рассмотрен вопрос использования различных отведений при расчете метрик энтропии и мощности сигнала ЭЭГ для оценки различий между функциональными состояниями человека. Рассматриваемые метрики и группы отведений были выявлены в ходе обзора работ по теме распознавания состояния концентрации. Применимость этих отведений была оценена на 23 записях состояния концентрации и фонового состояния свободного блуждания ума для 17 участников. Для оценки применимости отведений были использованы коэффициент точечной бисериальной корреляции этих метрик и соответствующих состояний, а также аналогичный показатель, основанный на разности межквартильных расстояний их значений.

Было показано, что наиболее многообещающими для целей распознавания состояния концентрации являются префронтальные отведения (для метрики энтропии сигнала в диапазоне от 0,3 до 30 Гц) и затылочные отведения (для спектральных метрик мощности в α - и β -диапазонах), причем различия с фоновым состоянием могут проявляться как по среднему значению метрик, так и по межквартильному расстоянию. Наиболее значимые изменения для состояния концентрации наблюдаются для относительных значений метрик на префронтальных отведениях к затылочным. Вместе с тем ни одна из этих метрик ни на одной из групп отведений не показывает универсального характера изменений для состояния концентрации.

Таким образом, в работе показана обоснованность применения исключительно фронтальных отведений при рассмотрении метрики энтропии и в меньшей степени спектральных метрик. Вместе с тем распознавание состояния концентрации требует предварительной записи фонового состояния непосредственно перед началом распознавания в силу высоких индивидуальных особенностей участников. Поиск более универсальных метрик, по всей видимости, требует использования отведений по всей поверхности скальпа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EEG-based identification of emotional neural state evoked by virtual environment interaction / D. Jung, J. Choi, J. Kim, S. Cho, S. Han // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19. – DOI: 10.3390/ijerph19042158.
2. A review of applications of electroencephalogram in thermal environment: comfort, performance, and sleep quality / J. Shi, N. Zhang, Ch. Liu, J. Li, Y. Sun, W. Gao // *Journal of Building Engineering*. – 2024. – Vol. 84. – DOI: 10.1016/j.JOBE.2024.108646.
3. Use of EEG signals, cortisol secretion, and task performance to evaluate the effects of different lighting environments on concentration level in a sustained attention task / M.-C. Hsieh, Y.-Q. Zhang, R. Dong, Y.-C. Lee, C.-y. Ni // *International Journal of Industrial Ergonomics*. – 2022. – Vol. 92 (4). – DOI: 10.1016/j.ergon.2022.103371.
4. Evaluation on game concentration with multi-scale fuzzy entropy based on EEG signals / Y. Wang, Q. Huang, Z. Xie, M. Wang, W. Bao // *Entertainment Computing*. – 2023. – Vol. 46. DOI: 10.1016/j.entcom.2023.100570.
5. Comparative study of attention-related features on attention monitoring systems with a single EEG channel / Zh. Liang, X. Wang, J. Zhao, X. Li // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2022. – Vol. 382. – DOI: 10.1016/j.jneumeth.2022.109711.
6. Exploring the effects of indoor temperature on college students' physiological responses, cognitive performance and a concentration index derived from EEG signals / Y. Li, Sh. Li, W. Gao, W. Xu, Y. Xu, J. Wang // *Developments in the Built Environment*. – 2022. – Vol. 12. – DOI: 10.1016/j.dibe.2022.100095.
7. Choi Y., Kim M., Chun C. Effect of temperature on attention ability based on electroencephalogram measurements // *Building and Environment*. – 2019. – Vol. 147. – P. 299–304. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.10.020.
8. Temporal dynamics of subjective and objective alertness during exposure to bright light in the afternoon for 5 h / X. Luo, T. Ru, Q. Chen, F.C. Hsiao, C.S. Hung, C.M. Yang, G. Zhou // *Frontiers in Physiology*. – 2021. – Vol. 12. – DOI: 10.3389/fphys.2021.771605.
9. Lim S., Yeo M., Yoon G. Comparison between concentration and immersion based on EEG analysis // *Sensors*. – 2019. – Vol. 19 (7). – DOI: 10.3390/s19071669.
10. Effect of indoors artificial lighting conditions on computer-based learning performance / R. Zhang, Y. Yang, Q. Fang, Y. Liu, X. Zhu, M. Wang, L. Su // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17 (7). – DOI: 10.3390/ijerph17072537.
11. Technology supported mindfulness for obsessive compulsive disorder: Self-reported mindfulness and EEG correlates of mind wandering / L.L. Hawley, N.A. Rector, A. DaSilva, J.M. Laposa, M.A. Richter // *Behaviour Research and Therapy*. – 2021. – Vol. 136. – DOI: 10.1016/j.brat.2020.103757.
12. Intermediate effects of mindfulness practice on the brain activity of college students: An EEG study / H. Do, H. Hoang, N. Nguyen, A. An, H. Chau, Q. Khuu, L. Tran, T. Le, A. Le, K. Nguyen, T. Vo, H. Ha // *IBRO Neuroscience Reports*. – 2023. – Vol. 14. – P. 308–319. – DOI: 10.1016/j.ibneur.2023.03.003.
13. The effects of an internet-based mindfulness meditation intervention on electrophysiological markers of attention / D. Klee, D.D. Colgan, D. Hanes, B. Oken // *International Journal of Psychophysiology*. – 2020. – Vol. 158. – P. 103–113.
14. Gupta S.S., Manthalkar R.R., Gajre S.S. Mindfulness intervention for improving cognitive abilities using EEG signal // *Biomedical Signal Processing and Control*. – 2021. – Vol. 70. – DOI: 10.1016/j.bspc.2021.103072.
15. Tong S., Thakor N.V. Quantitative EEG analysis methods and clinical applications. – Boston: Artech House, 2009. – 421 p.
16. Oppenheim A.V., Schaffer R.W., Buck J.R. Discrete-time signal processing. – 2nd ed. – Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1999. – 870 p.

17. Bai Y., Liang Z., Li X. A permutation Lempel-Ziv complexity measure for EEG analysis // Biomedical Signal Processing and Control. – 2015. – Vol. 19. – DOI: 10.1016/j.bspc.2015.04.002.
18. Glass G.V., Hopkins K.D. Statistical methods in education and psychology. – Boston: Allyn & Bacon, 1995. – 674 p.

Глеклер Эдуард Викторович, младший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация). E-mail: eduard.glekler@yandex.ru

Glekler Eduard V., junior researcher, laboratory of integrated automation systems, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, Russian Federation). E-mail: eduard.glekler@yandex.ru

DOI: 10.17212/2782-2001-2024-3-39-54

Analysis of the electrical activity in various brain regions for assessing differences in human functional states*

E.V. GLEKLER

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 39 14th Line V.O., St. Petersburg, 664033, Russian Federation

eduard.glekler@yandex.ru

Abstract

The study presents an evaluation of the feasibility of using various EEG leads for calculating EEG signal metrics aimed at detecting differences in the EEG signal of a person in a state of concentration and a state of mind-wandering. The leads and metrics were selected based on an analysis of related studies focused on recognizing and assessing human states, such as concentration. Practical methods for calculating selected power and entropy metrics in various frequency bands are provided. The study uses a unique dataset containing EEG recordings for functional states of concentration at a point in the center of the forehead and background states of mind-wandering, including data from 17 participants. The assessment of the applicability of leads was based on the point-biserial correlation coefficient of the metric values with functional states, as well as a similar measure based on the difference in interquartile ranges of the metric values. It was shown that the most promising leads for application are prefrontal leads for calculating the signal entropy metric in the 0.3 to 30 Hz range, and occipital leads for calculating spectral power metrics in the α and θ ranges. For several metrics, not only absolute values are important, but also their ratios for different brain regions (prefrontal, central, and occipital). Among the relative values, the most promising is the ratio of metric values in the prefrontal leads to the corresponding values in the occipital leads. These metrics on the selected leads show significant but divergent changes between functional states for the participants in the sample.

Keywords: EEG leads, concentration, spectral analysis, entropy, functional states, brain regions, EEG metrics, mind-wandering

* Received 02 April 2024.

REFERENCES

1. Jung D., Choi J., Kim J., Cho S., Han S. EEG-based identification of emotional neural state evoked by virtual environment interaction. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19. DOI: 10.3390/ijerph19042158.
2. Shi J., Zhang N., Liu Ch., Li J., Sun Y., Gao W. A review of applications of electroencephalogram in thermal environment: comfort, performance, and sleep quality. *Journal of Building Engineering*, 2024, vol. 84. DOI: 10.1016/J.JOBE.2024.108646.
3. Hsieh M.-C., Zhang Y.-Q., Dong R., Lee Y.-C., Ni C.-y. Use of EEG signals, cortisol secretion, and task performance to evaluate the effects of different lighting environments on concentration level in a sustained attention task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2022, vol. 92 (4). DOI: 10.1016/j.ergon.2022.103371.
4. Wang Y., Huang Q., Xie Z., Wang M., Bao W. Evaluation on game concentration with multi-scale fuzzy entropy based on EEG signals. *Entertainment Computing*, 2023, vol. 46. DOI: 10.1016/j.entcom.2023.100570.
5. Liang Zh., Wang X., Zhao J., Li X. Comparative study of attention-related features on attention monitoring systems with a single EEG channel. *Journal of Neuroscience Methods*, 2022, vol. 382. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2022.109711.
6. Li Y., Li Sh., Gao W., Xu W., Xu Y., Wang J. Exploring the effects of indoor temperature on college students' physiological responses, cognitive performance and a concentration index derived from EEG signals. *Developments in the Built Environment*, 2022, vol. 12. DOI: 10.1016/j.dibe.2022.100095.
7. Choi Y., Kim M., Chun C. Effect of temperature on attention ability based on electroencephalogram measurements. *Building and Environment*, 2019, vol. 147, pp. 299–304. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.10.020.
8. Luo X., Ru T., Chen Q., Hsiao F.C., Hung C.S., Yang C.M., Zhou G. Temporal dynamics of subjective and objective alertness during exposure to bright light in the afternoon for 5 h. *Frontiers in Physiology*, 2021, vol. 12. DOI: 10.3389/fphys.2021.771605.
9. Lim S., Yeo M., Yoon G. Comparison between concentration and immersion based on EEG analysis. *Sensors*, 2019, vol. 19 (7). DOI: 10.3390/s19071669.
10. Zhang R., Yang Y., Fang Q., Liu Y., Zhu X., Wang M., Su L. Effect of indoors artificial lighting conditions on computer-based learning performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17 (7). DOI: 10.3390/ijerph17072537.
11. Hawley L.L., Rector N.A., DaSilva A., Laposa J.M., Richter M.A. Technology supported mindfulness for obsessive compulsive disorder: Self-reported mindfulness and EEG correlates of mind wandering. *Behaviour Research and Therapy*, 2021, vol. 136. DOI: 10.1016/j.brat.2020.103757.
12. Do H., Hoang H., Nguyen N., An A., Chau H., Khuu Q., Tran L., Le T., Le A., Nguyen K., Vo T., Ha H. Intermediate effects of mindfulness practice on the brain activity of college students: An EEG study. *IBRO Neuroscience Reports*, 2023, vol. 14, pp. 308–319. DOI: 10.1016/j.ibneur.2023.03.003.
13. Klee D., Colgan D.D., Hanes D., Oken B. The effects of an internet-based mindfulness meditation intervention on electrophysiological markers of attention. *International Journal of Psychophysiology*, 2020, vol. 158, pp. 103–113.
14. Gupta S.S., Manthalkar R.R., Gajre S.S. Mindfulness intervention for improving cognitive abilities using EEG signal. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2021, vol. 70. DOI: 10.1016/j.bspc.2021.103072.
15. Tong S., Thakor N.V. *Quantitative EEG analysis methods and clinical applications*. Boston, Artech House, 2009. 421 p.
16. Oppenheim A.V., Schaffer R.W., Buck J.R. *Discrete-time signal processing*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 1999. 870 p.

17. Bai Y., Liang Z., Li X. A permutation Lempel-Ziv complexity measure for EEG analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2015, vol. 19. DOI: 10.1016/j.bspc.2015.04.002.
18. Glass G.V., Hopkins K.D. *Statistical methods in education and psychology*. Boston, Allyn & Bacon, 1995. 674 p.

Для цитирования:

Глеклер Э.В. Анализ электрической активности различных областей головного мозга для оценки различий функциональных состояний человека // Системы анализа и обработки данных. – 2021. – № 3 (95). – С. 39–54. – DOI: 10.17212/2782-2001-2024-3-39-54.

For citation:

Glekler E.V. Analiz elektricheskoi aktivnosti razlichnykh oblastei golovnogogo mozga dlya otsenki razlichii funktsional'nykh sostoyanii cheloveka [Analysis of the electrical activity in various brain regions for assessing differences in human functional states]. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh = Analysis and Data Processing Systems*, 2021, no. 3 (95), pp. 39–54. DOI: 10.17212/2782-2001-2024-3-39-54.