Дата публикации: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_10
УДК 612.8:001.891(0571.1)-053.8

Publication date: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_10
UDC 612.8:001.891(0571.1)-053.8

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОГНИТИВНЫХ НАГРУЗОК СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

М.А. Попова, М.И. Чеберяк
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный педагогический университет», г. Сургут, Россия

Аннотация. Анализ нейрофизиологических процессов когнитивной нагрузки обучающихся считается одним из значимых аспектов при разработке и освоении образовательных программ, а также воспитательных мероприятий. По причине широкого спектра охватываемой информации обучающимися, в период обучения и некоторых видов деятельности наблюдается снижение качества усвоения, восприятия и сохранения образовательного материала. Интенсивная умственная деятельность, а также включение электронных информационных ресурсов может приводить к увеличению вероятности ошибок при выполнении задач разной модальности и уровня сложности. Анализ когнитивной нагрузки считается необходимым элементом оценки психофизиологического состояния обучающихся и может использоваться для повышения эффективности обучения.

Ключевые слова: нейрофизиологические процессы, когнитивная нагрузка, электроэнцефалограмма, студенты.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF STUDENTS' NEUROPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COGNITIVE STRUCTURES IN THE LEARNING PROCESS (LITERATURE REVIEW)

M.A. Popova, M.I. Cheberyak
Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russia

Abstract. The analysis of neurophysiological processes of students' cognitive activity is considered one of the significant aspects in the development and mastering of educational programs, as well as educational activities. Due to the wide range of information covered by the students, is leads to a decrease in the quality of acquisition, perception and preservation of educational material during the educational period and some other activities. Intensive mental activity, as well as the inclusion of electronic information resources, may lead to an increase in the error rate when performing tasks of different modality and complexity. The cognitive load analysis is considered to be a necessary element of the psychophysiological state assessment of students and may be used to improve the effectiveness of learning.

Keywords: neurophysiological processes, cognitive load, electroencephalogram, students.

Введение. Современное образование сталкивается с рядом вызовов, связанных с необходимостью адаптации учебных процессов к стремительно меняющимся требованиям цифровой эпохи. Одной из ключевых задач становится понимание нейрофизиологических основ когнитивных процессов, происходящих в мозге студентов в условиях интенсивных учебных нагрузок. Изучение нейрофизиологических характеристик когнитивных нагрузок позволяет не только углубить наше понимание того, как студенты воспринимают и обрабатывают информацию, но и разработать более эффективные методики преподавания, способствующие улучшению учебных результатов.

Когнитивные нагрузки, возникающие в процессе обучения, оказывают существенное влияние на успеваемость студентов, их мотивацию и общее состояние здоровья. Понимание механизмов, лежащих в основе

этих нагрузок, требует междисциплинарного подхода, объединяющего нейрофизиологические, психологические и педагогические аспекты. В последние годы наблюдается значительный прогресс в области нейронаук, что открывает новые возможности для анализа и оптимизации учебных процессов.

Целью данной статьи является рассмотрение методологических аспектов исследования нейрофизиологических характеристик когнитивных нагрузок студентов. Мы стремимся выявить ключевые методы и подходы, которые могут быть использованы для изучения этих характеристик, а также обсудить их применение на практике. В центре внимания находятся такие методы, как электроэнцефалография (ЭЭГ), функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) и другие нейровизуализационные технологии, которые позволяют получить ценные данные о мозговой активности в условиях учебных нагрузок.

В ходе ретроспективного анализа научно-исследовательских работ [1-5], направленных на изучение мозговой активности человека, можно отметить, что исследования с использованием метода ЭЭГ в рамках образовательного процесса констатирует о значительном интересе в научном сообществе в последние несколько лет.

Области рассмотрения проблемы взаимосвязи нейрофизиологических коррелят с конкретной нагрузкой в научной литературе посвящены изучению спектральных особенностей, полученных из сигналов ЭЭГ, для измерения когнитивной нагрузки. Рассматривается важность применения нейрокомпьютерных интерфейсов (в т.ч. электроэнцефалограмма) [6-9], так как регистрация нейрофизиологических реакций на образовательный материал способствует оптимизации интеллектуальной деятельности студентов [9, 10]. В иных работах рассматривается мгновенная когнитивная нагрузка, динамика эмоционального фона при мультимедийном обучении с использованием сигналов ЭЭГ [10, 11], рассматриваются когнитивные нагрузки при выполнении поиска информации, а также ее понимания [12].

Согласно исследованиям [13-15] приоритет умственной активности в повседневной трудовой деятельности современного человека ежегодно увеличивается и повышает степень воздействия когнитивных нагрузок на центральную нервную систему. При воздействии когнитивной нагрузки на мыслительный процесс у человека возникают сравнительно сложные нейрофизиологические механизмы, которые отражаются в показателях ЭЭГ [9, 16]. Именно поэтому изучение показателей энцефалографической и нейрофизиологической кортикальной активности мозговых структур в условиях специфичных методов и форм подачи информационного материала разной модальности становится ведущим фактором определения функционального состояния головного мозга путем регистрации электрической активности.

Как отмечается в работах [6, 8, 11, 17], важную значимость охватывают исследования в области обеспечения нейрофизиологических основ умственной деятельности у студентов, потому как в данный период молодые люди получают большой поток информации. Образовательный процесс в университете носит преимущественно самостоятельный характер с учетом направленности, специфики выбранной профессии. Процесс подготовки будущих специалистов сопряжен с ненормированной умственной работой и повседневной деятельностью студента [7]. Данная нагрузка не всегда соответствует психологическим и физиологическим аспектам организма и определяет необходимость детального изучения и реализации здоровьесберегающих принципов образовательной деятельности в ВУЗе.

Вектор научных исследований [18-20] в аспектах психофизиологических потенциалов и нейрофизиологических механизмов студентов ориентирован на оценку уровня психологической адаптации, физиологических аспектов организма, таких как сердечно-сосудистая система, косвенно

нейродинамических характеристик, морфологическое состояние здоровья и других интегративных систем. Однако работ, направленных на оценку нейрофизиологических особенностей, характеризующих обеспечение образовательной деятельности у студентов, в современной действительности требует дальнейшего изучения [2, 5, 21-23], так как исследования разнонаправлены с точки зрения нейрофизиологических процессов при когнитивной нагрузке разной модальности.

Цель работы: провести теоретическое изучение методологических аспектов исследования нейрофизиологических характеристик когнитивных нагрузок студентов в процессе обучения.

Методы и организация исследования. С целью раскрытия тематики данной статьи были осуществлены поиск научных публикаций и их теоретический анализ. Подбор основных источников информации производился на таких информационных ресурсах, как PubMed, КиберЛенинка, eLibrary.

Результаты исследования и их обсуждение. Согласно функциональному развитию возрастного аспекта, период юности, протекающий в момент обучения в ВУЗе, у студентов характеризуется высокой готовностью центральной нервной системы к когнитивным нагрузкам, что обеспечивает оптимизацию мозговой деятельности [14, 19, 24]. Вербальный интеллект прогрессирует, развивается абстрактно-логическое, критическое мышление, систематический анализ [25]. Обучение в ВУЗе допустимо отнести в особую когорту, так как студенты вынуждены адаптироваться к реорганизации образовательного процесса, информационному потоку нового материала разной направленности, самоорганизации в условиях минимальных регламентационных требований и т.д. [14, 24, 26]. Данная нагрузка вызывает напряженность нервных процессов, возникает характерная ритмичность нейронов головного мозга, зависящая от уровня полученных знаний, пола, типа нервной системы и т.д. [27].

В рамках исследований когнитивных процессов студентов высокое значение имеют труды, сочетающие в себе психологический и нейрофизиологический подходы [7, 28, 29]. Подобное выстраивание исследовательского процесса помогает понять базовые механизмы когнитивных процессов. Для изучения функционального состояния мозга эффективным будет являться метод ЭЭГ. Также его преимущество заключается в безопасности и неинвазимном способе применения.

Альфа-ритм является наиболее исследуемым параметром ЭЭГ [7]. Усредненные потенциалы базовой частоты равняются 8-13 Гц [30]. При записи ЭЭГ альфа-ритм регистрируется в состоянии функционального покоя (бодрствования) при закрытых глазах, преобладая в затылочных отведениях коры головного мозга. Данный ритм демонстрирует значительные вариации и изменения в зависимости от возраста, психического состояния, выполняемой когнитивной задачи [31]. Установлено, что при обработке визуальной информации и увеличении сложности задания мощность альфа-волн уменьшается [32]. Позволительно заключить, что активация альфа-ритма зависит от уровня фокусировки внимания.

Ритмическая активность бета-ритма обусловлена процессом анализа данных. Выделяют два вида поддиапазона бета-ритма: низкий бета-ритм – 13-21 Гц (бета-1) и высокий бета-ритм – 21-30 Гц (бета-2), в основном фиксируются в зонах центральных и лобных извилин [7]. Отмечается, что на увеличение интенсивности бета-ритма в затылочных и теменных отведениях воздействует длительная когнитивная нагрузка при выполнении задач, касающихся высокой концентрации [7, 20, 29]. Также важным является то, что бета-ритм показывает сосредоточенность человека на поставленной задаче, то есть отображает функциональное напряжение центральной нервной системы человека [33-35].

Частоты активности более 30 Гц называются гамма-ритмом [36]. Гамма-ритмы регистрируются в сенсомоторной области

коры головного мозга, а диапазон может варьироваться от 30 Гц до 80 Гц [37], но, как правило, он не используется в диагностике. По мнению авторов [37-39], гамма-ритм для обучения, запоминания и обработки данных играет ключевую роль в формировании и восстановлении эпизодических воспоминаний, т.е. данный ритм характеризует высокоинтеллектуальную деятельность, которая не может быть длительной.

В результате нейрофизиологических исследований последних двадцати лет увеличилось количество сведений о тета-ритме ЭЭГ. Тета-ритм наблюдается при утомлении, сонливости взрослого человека, а также при невозможности сосредоточиться. Диапазон тета-ритма равняется 4-8 Гц, преимущественно проявляется в лобно-центральных и теменных областях [40]. Доказано [29], что впоследствии продолжительной когнитивной нагрузки мощность тета-ритма значительно увеличивается во фронтальных медиальных электродах. При усиленной концентрации внимания, обработки полученных новых сведений увеличивается тета-активность [28]. Выявлено, что после непрерывного выполнения арифметических заданий отмечается повышение мощности фронтального тета-ритма. Также тета-ритмы фиксируются в случае переживания положительных и негативных чувств, эмоций [23].

Дельта-ритм наблюдается при отсутствии сознания или глубоком сне и включает частотные компоненты ниже 4 Гц [40]. Дельта-ритм наблюдается практически во всех электронных отведениях [41]. При извлечении из памяти эмоциональных образов в процессе генерации эмоций наблюдается усиление мощности в дельта-диапазоне. Констатируется факт вовлечения нейронных сетей, осциллирующих на частоте дельта-активности, в процессе обнаружения аффективной значимости сигнала [21].

Нейронные осцилляции могут быть обусловлены внешними воздействиями, выражены в состоянии покоя, либо в условиях отсутствия ограничений и широко изучены у людей [42]. Научные труды на протяжении десятилетий демонстрируют, что когнитивные, двигательные и эмоциональные процессы непосредственно связаны с определенными паттернами колебаний [14, 23, 24, 43-45].

Привлекают внимание исследования о влиянии экзаменационного стресса в современных реалиях на молодых людей [22, 23, 28, 34, 46]. В исследовании Рустамовой Т.В. [43] изучена биоэлектрическая активность теменной области головного мозга в будние дни, перед экзаменом и после него. Кроме этого, учитывался тип темперамента студентов. Резких перепадов в ритмах амплитуды ЭЭГ у студентов-меланхоликов V курса не наблюдалось, чего нельзя сказать о студентах I курса. В момент эмоционального перенапряжения наблюдались значительные изменения в теменной доле головного мозга – увеличивался ритм волн у студентов младшего курса. При этом отмечалось, что бета-ритм ослабевает. Следует учесть, что стресс в ходе данного исследования можно охарактеризовать как субъективной, так и объективной реакцией у студентов. В результате исследования было выяснено, что темперамент оказывает влияние на показатели биоэлектрической активности у студентов, так как это влияет на подвижность и стабильность нервных процессов. В работе Зарипова В.Н. [2] установлено, что у студенток-сангвиников при умственной деятельности во фронтальной доле левостороннего полушария снижается частота тета-ритмов и индекса альфа-ритма при увеличении дельта-ритмов, что указывает на утомление организма при дальнейшей мыслительной деятельности.

Султанов М.Б. в соавт. [44] изучали воздействие личностных черт юношей-спортсменов на ЭЭГ-ритмы. Ученые утверждают, что при высоких значениях экстраверсии происходит обратно пропорциональная зависимость с мощностью дельта-диапазона. Тета-ритм может быть сопряжен с показателем нейротизма. Обоснование этому является снижение мощности ритма в префронтальной коре в момент опасности, а в момент относительного комфорта – увеличение. Данные

согласуются с предшествующей работой авторов, где группой обследуемых являлись профессиональные футболисты.

В научной работе Grammer J.K. [47] исследовали внимание студентов при различных формах проведения занятия. Исследование демонстрирует, что повышенное внимание наблюдалось на занятиях, где студенты работали в группах, либо самостоятельно, т.е. были полностью сосредоточены и задействованы в образовательный процесс. Об этом свидетельствовали высокие показатели бета- и гамма-ритмов. Во время просмотра видео напротив преимущественно наблюдался альфа-ритм, что может говорить об отвлечении студентов от учебной деятельности. В данном исследовании метод ЭЭГ является хорошим инструментом для распознания когнитивных нагрузок в процессе обучения.

В данной научной публикации [11] рассматривают взаимосвязь между когнитивной нагрузкой и эмоциональной активностью в период обучения при помощи средств мультимедиа. Настоящее исследование говорит об отрицательной взаимосвязи и необходимости снижать когнитивную нагрузку образовательным материалом для поддержания эмоционального фона обучающихся на благоприятном уровне для оптимизации образовательного процесса.

Заключение. Проведенный обзор научной литературы показал, что исследования при помощи электроэнцефалографа в сфере образования используют в целях диагностики когнитивных способностей, оценки уровня вовлеченности обучающихся, уровня стресса в экзаменационный период и т.д. [8, 43, 46, 48,]. На данный момент образовательный процесс претерпевает стремительный рост компьютерных технологий, что требует дополнительного внимания со стороны образовательных организаций. Все чаще можно наблюдать проведение занятий при помощи мультимедиа, что может способствовать значительному улучшению усвоения образовательной программы [49, 50]. Однако неправильное использование данной технологии может привести к повышенной когнитивной нагрузке [10, 49].

Рассматриваемые методологические подходы призваны не только обогатить теоретические знания в области когнитивных наук, но и иметь практическое значение для преподавателей и разработчиков образовательных программ. Исследование нейрофизиологических процессов при когнитивных нагрузках студентов необходимо использовать для адаптации образовательных программ и созданию более комфортной и продуктивной учебной среды.

В период обучения большинство познавательных функций студентов достигают оптимума своего развития и высокого уровня общего интеллектуального развития (восприятия, памяти, мышления, внимания, выстраивание логических операций).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жукова, Т. В. Особенности учебной деятельности студентов СПО и ВО / Т. В. Жукова // Проблемы современного педагогического образования. – 2020. – № 68-3. – С. 321–324.
2. Зарипов, В. Н. Изменения электрической активности коры головного мозга у студенток с разным типом темперамента под влиянием умственных нагрузок различной интенсивности / В. Н. Зарипов, М. О. Баринова // Российский университет в неустойчивом мире: глобальные вызовы и национальные ответы. – 2019. – Т.2. – С. 176–182.
3. Максимова, М. В. Опыт применения ЭЭГ в образовании: анализ зарубежных исследований / М. В. Максимова, Х. Х. Этуев // Отечественная и зарубежная педагогика. – 2023. – № 2. – С. 169–185.
4. Chen, C. M. Effects of different video lecture types on sustained attention, emotion, cognitive load, and learning performance / C. M. Chen, C. H. Wu // Computers & Education. – 2015. – Vol. 80. – P. 108–121.

5. Multi-Level Attention Recognition of EEG Based on Feature Selection / X. Xu, X. Nie, J. Zhang, T. Xu // Int J Environ Res Public Health. – 2023. – Vol. 20(4). – P. 1–17.
6. Гнедых, Д. С. Тенденции и перспективы использования нейрокомпьютерных интерфейсов в образовании / Д. С. Гнедых // СПЖ. – 2021. – № 79. – С. 108–129.
7. Поликанова, И. С. Влияние длительной когнитивной нагрузки на параметры ЭЭГ / И. С. Поликанова, А. В. Сергеев // Национальный психологический журнал. – 2014. – № 1 (13). – С. 84–92.
8. EEG-based measurement system for monitoring student engagement in learning 4.0 / A. Apicella, P. Arpaia, M. Frosolone [et al] // Scientifc Reports. – 2022. – Vol. 12. – P. 5857.
9. Yoo, G. Prediction of Cognitive Load from Electroencephalography Signals Using Long Short–Term Memory Network / G. Yoo, H. Kim, S. Hong // Bioengineering (Basel). – 2023. – Vol. 10(3). – P. 361.
10. Assessment of instantaneous cognitive load imposed by educational multimedia using electroencephalography signals / R. Sarailoo, K. Latifzadeh, S. H. Amiri [et al] // Front Neurosci. – 2022. – Vol. 1. – P. 16.
11. Emotional Activity Is Negatively Associated With Cognitive Load in Multimedia Learning: A Case Study With EEG Signals / X. Guo, T. Zhu, C. Wu [et al] // Front Psychol. – 2022. – Vol. 13.
12. Comparing online cognitive load on mobile versus PC-based devices / C. L. Caldiroli, F. Gasparini, S. Corchs [et al] // Pers Ubiquitous Comput. – 2023. – Vol. 27(2). – P. 495–505.
13. Говорухина, А. А. Факторы, влияющие на умственную работоспособность студентов (обзор литературы) / А. А. Говорухина, А. А. Левчук // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 1. – С. 64–72.
14. Яценко, М. В. Особенности влияния исходного функционального состояния мозга на умственную работоспособность студентов в контексте их индивидуально-типологических особенностей / М. В. Яценко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70). – № 1. – С. 168–178.
15. Mental work load estimation with electroencephalogram signals by combining multi-space deep models / H. H. Nguyen, N. K. Iyortsuun, S. Kim [et al] // Biomedical Signal Processing and Control. – 2024. – Vol. 94. – P. 106284.
16. Studying the generalisability of cognitive load measured with EEG / L. C. Gomez, R. Hervas, I. Gonzalez, V. Villarreal // Biomedical Signal Processing and Control. – 2021. – Vol. 70. – P. 103032.
17. Костромина, С. Н. Нейронаука в системе профессионального образования / С. Н. Костромина, Д. С. Гнедых // Профессиональное образование и рынок труда. – 2021. – № 4 (47). – С. 8–29.
18. Лезарева, Т. А. Об эффективности механизмов психофизиологической адаптации в динамике учебно-образовательного процесса / Т. А. Лезарева, С. А. Лытаев // Педиатр. – 2019. – Т. 10. – № 6. – С. 67–77.
19. Оценка психофизиологического потенциала в процессе адаптации к учебной деятельности / Н. А. Литвинова, В. И. Иванов, М. Г. Березина, В. В. Глебов // Психология. Психофизиология. – 2021. – Т. 14. – № 2. – С. 108–122.
20. Романчук, Н. П. Нейрофизиологические корреляты ЭЭГ влияния циркадианной системы на функциональное состояние организма человека: автореф. дис. … канд. Физ. наук: 03.03.01 / Наталья Петровна Романчук – Самара, 2020. – 167 с.
21. Анализ вызванной синхронизации и десинхронизации ЭЭГ при эмоциональной активации у человека: временные и топографические характеристики / Л. И. Афтанас, Н. В. Рева, А. А. Варламов [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности. – 2003. – Т. 53. – № 4. – С. 485–494.
22. Рустамова, Т. В. Влияние экзаменационного стресса на возрастную динамику флегматического темперамента у студентов 20-летнего возраста на вегетативные показатели / Т. В. Рустамова // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8. – № 3. – С. 213–216.
23. Спиридонова, М. Д. Особенности спектров мощности ЭЭГ при переживании чувства страха / М. Д. Спиридонова // Молодой ученый. – 2013. – № 8. – С. 130–132.
24. Яценко, М. В. Анализ функционального состояния мозга у студентов с высокими и низкими показателями умственной работоспособности / М. В. Яценко, Л. К. Каменек // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2018. – № 2. – С. 100–109.
25. Zakirova, L. M. Development of Constructive Features of Intelligence in the Process of Professional Training / L. M. Zakirova, N. T. Burganova, L. M. Khamitova // Procedia – Social

and Behavioral Sciences. – 2015. – Vol. 191. – P. 773–776.
26. Physical Activity and Mental Health in Undergraduate Students / G. Rodríguez-Romo, J. Acebes-Sánchez, S. García-Merino [et al] //Int J Environ Res Public Health. – 2022. – Vol. 23 – № 20(1). – P. 195.
27. Антропова, Л. К. Семантическая вербальная беглость: особенности ЭЭГ-показателей при когнитивной нагрузке студентов / Л. К. Антропова, В. Ю. Куликов // Вестник психофизиологии. – 2018. – № 3. – С. 100–107.
28. Турбасова, Н. В. Особенности биоэлектрической активности головного мозга студенток выпускного курса в зависимости от их уровня тревожности / Н. В. Турбасова, Н. В. Карпов, А. В. Елифанов // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – № 3. – С. 37–46.
29. Boksem, M. A. Mental fatigue, motivation and action monitoring / M. A. Boksem, T. F. Meijman, M. M. Lorist // Biol. Psychol. – 2006. – Vol. 72. – P. 123–132.
30. International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) – EEG research workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies / C. Babiloni, R. J. Barry, E. Başar [et al] // ClinNeurophysiol. – 2020. – Vol. 131 (1). – P. 285–307.
31. Basar, E. A review of alpha activity in integrative brain function: fundamental physiology, sensory coding, cognition and pathology / E. Basar // Int J Psychophysiol. – 2012. – Vol. 86 (1). – P. 1–24.
32. Жожикашвили, Н. А. Альфа- и тета-ритмы как маркеры когнитивного усилия / Н. А. Жожикашвили, А. Д. Бакумова // Российский психологический журнал. – 2022. – № 2. – С. 201–219.
33. Трушина, Д. А. Пространственная картина ритмов электроэнцефалограммы у студентов-правшей с разными уровнями тревожности в покое и во время экзаменационного стресса / Д. А. Трушина, О. А. Ведясова, С. И. Павленко // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – № 2. – С. 141–150.
34. Электроэнцефалографические корреляты тревожности / Г. Г. Князев, А. Н. Савостьянов, Е. А. Левин [и др.] // Сибирский научный медицинский журнал. – 2009. – № 1. – С. 74–80.
35. Foong, R. Assessment of the efficacy of EEG-based MI-BCI with visual feedback and EEG correlates of mental fatigue for upper-limb stroke rehabilitation / R. Foong, K. K. Ang, C. Quek [et al] // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 2019. – Vol. 67. – P. 786–795.
36. Paul, L. Electroencephalogram. / L. Paul, N. Srinivasan, R. Srinivasan // Scholarpedia. – 2007 – № 2(2). – P. 1348.
37. Griffiths, B. J. Gamma oscillations and episodic memory / B. J. Griffiths, O. Jensen // Trends in Neurosciences. – 2023. – Vol. 46. – P. 832–846.
38. Directional coupling of slow and fast hippocampal gamma with neocortical alpha/beta oscillations in human episodic memory / B. J. Griffiths, G. Parish, F. Roux [et al] // ProcNatlAcadSci U S A. – 2019. – Vol. 116. – P. 21834–21842.
39. Episodic sequence memory is supported by a theta-gamma phase code / A. C. Heusser, D. Poeppel, Y. Ezzyat, L. Davachi // Nat. Neurosci. – 2016. – Vol. 19. – P. 1374–1380.
40. Azadi, M. M. Fatigue factors and fatigue indices in SSVEP-based brain-computer interfaces: a systematic review and meta–analysis / M. M. Azadi, A. Maleki // Front. Hum. Neurosci. – 2023. – Vol. 17. – P. 1–16.
41. Frohlich, J. Consciousness among delta waves: a paradox? / J. Frohlich, D. Toker, M. M. Monti // Brain. – 2021. – Vol. 144(8). – P. 2257–2277.
42. Cohen, M. X. Where Does EEG Come From and What Does It Mean? / M. X. Cohen // Trends Neurosci. – 2017. – Vol. 40(4). – P. 208–218.
43. Рустамова, Т. В. Влияние экзаменационного стресса на амплитуду волн ЭЭГ в теменной доле головного мозга у студентов факультета биологии-химии с различными индивидуально-типологическими особенностями / Т. В. Рустамова // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2020. – № 5. – С. 97–112.
44. Султанов, М. Б. Электроэнцефалографическое исследование префронтальной коры головного мозга юношей-спортсменов с учетом их темперамента / М. Б. Султанов, Х. Ю. Исмайлова // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2022. –№ 4. – С. 431–438.
45. The Influences of Emotion on Learning and Memory / C. M. Tyng, H. U. Amin, M. M. Saad, A. S. Malik // Front Psychol. – 2017. – Vol. 8. – P. 1454.
46. The Effects of Exam-Induced Stress on EEG Profiles and Memory Scores / T. Roy, K. S. Saroka, V. L. Hossack, B. T. Dotta // BehavSci (Basel). – 2023. – Vol. 13(5). – P. 373.
47. Grammer, J.K. Effects of context on the neural correlates of attention in a college classroom / J. K.

Grammer, K. Xu, A. Lenartowicz // NPJ Sci. Learn. – 2021. – Vol. 6(15). – P. 1–4.
48. Rajendran, V. G. EEG Based Evaluation of Examination Stress and Test Anxiety Among College Students / V. G. Rajendran, S. Jayalalitha, K. Adalarasu // IRBM. – 2022. – Vol. 43. – P. 349–361.
49. Effects and prediction of cognitive load on encoding model of brain response to auditory and linguistic stimuli in educational multimedia. / A. H. Asaadi, S. H. Amiri, A. Bosaghzadeh, R. Ebrahimpour // Scientifc Reports. – 2024. –Vol. 14 – P. 9133.
50. EEG-Based Tool for Prediction of University Students' Cognitive Performance in the Classroom / M. A. Ramírez-Moreno, M. Díaz-Padilla, K. D. Valenzuela-Gómez [et al] // Brain Sci. – 2021. – Vol. 11(6). – P. 698.

REFERENCES

1. Zhukova T.V. Features of learning activity of students of SPE and HE. *Problems of modern pedagogical education*, 2020, no. 68-3, pp. 321–324. (in Russ.)
2. Zaripov V.N., Barinova M.O. Changes in the electrical activity of the cerebral cortex in female students with different types of temperament influenced by intellectual loads of varying intensity. Russian University in an Unstable World: Global Challenges and National Responses. Materials of the National Scientific and Practical Conference, 2019, vol. 2, pp. 176–182. (in Russ.)
3. Maksimova M.V., Etuev H.H. EEG headsets application experience in education: systematic literature review. *Domestic and foreign pedagogy*, 2023, no 2, pp.169–185. (in Russ.)
4. Chen C.M., Wu C.H. Effects of different video lecture types on sustained attention, emotion, cognitive load, and learning performance. *Computers & Education*, 2015, vol. 80, pp. 108–121.
5. Xu X., Nie X., Zhang J., Xu T. Multi-Level Attention Recognition of EEG Based on Feature Selection. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, vol. 20(4), pp. 1–17.
6. Gnedykh D.S. Trends and prospects of using brain-computer interfaces in education. *SJP*, 2021, no. 79, pp. 108–129. (in Russ.)
7. Polikanova I.S., Sergeev A.V. Influence of long-term cognitive load on the EEG parameters. *National psychological journal*, 2014, no. 1(13), pp. 84–92. (in Russ.)
8. Apicella A., Arpaia P., Frosolone M., Improta G., Moccaldi N., Pollastro A. EEG-based measurement system for monitoring student engagement in learning 4.0. *Scientifc Reports*, 2022, vol. 12, p. 5857.
9. Yoo G., Kim H., Hong S. Prediction of Cognitive Load from Electroencephalography Signals Using Long Short–Term Memory Network, *Bioengineering (Basel)*, 2023, vol. 10(3), p. 361.
10. Sarailoo R., Latifzadeh K., Amiri S.H., Bosaghzadeh A, Ebrahimpour R. Assessment of instantaneous cognitive load imposed by educational multimedia using electroencephalography signals. *Front Neurosci*, 2022, vol. 1, p. 16.
11. Guo X., Zhu T., Wu C., Bao Z, Liu Y. Emotional Activity Is Negatively Associated With Cognitive Load in Multimedia Learning: A Case Study With EEG Signals. *Front Psychol*, 2022, vol. 13, p. 889427.
12. Caldiroli C.L., Gasparini F., Corchs S., Mangiatordi A., Garbo R., Antonietti A., Mantovani F. Comparing online cognitive load on mobile versus PC-based devices. *Pers Ubiquitous Comput*, 2023, vol. 27(2), pp. 495–505.
13. Govorukhina A.A., Levchuk A.A. Factors influencing the mental efficiency of students (literature review). *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no.1, pp. 64–72. (in Russ.)
14. Yatsenko M.V. Features of the influence of the initial functional state of the brain on the mental capacity of students in the context of their individually-typological features. *Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 2018, vol. 4(70), no. 1, pp. 168–178. (in Russ.)
15. Nguyen H.H., Iyortsuun N.K., Kim S., Yang H.J., Kim S.H. Mental workload estimation with electroencephalogram signals by combining multi-space deep models. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2024, vol. 94, p. 106284.
16. Gomez L. C., Hervas R., Gonzalez I., Villarreal V. Studying the generalisability of cognitive load measured with EEG. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2021, vol. 70, p. 103032.
17. Kostromina S.N., Gnedykh D.S. Neuroscience in the system of vocational education. *Vocational Education and Labour Market*, 2021, no. 4(47), pp. 8–29. (in Russ.)
18. Lezareva T.A., Lytaev S.A. On the effectiveness of mechanisms of psychophysiological adaptation in the dynamics of the educational process. *Pediatrician*, 2019, vol. 10, no.6, pp. 67–77. (in Russ.)
19. Litvinova N.A., Ivanov V.I., Berezina M.G., Glebov V.V. Assessment of psychophysiological potential under adaptation to educational activity.

Psychology. Psychophysiology, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 108–122. (in Russ.)
20. Romanchuk N.P. Neurophysiological correlates of the EEG influence of the circadian system on the functional state of the human body. Samara, 2020. 167 p. (in Russ.)
21. Aftanas L.I., Reva N.V., Varlamov A.A., Pavlov S.V., Makhiev V.P. Analysis of evoked synchronization and desynchronization of EEG in emotional activation in humans: temporal and topographic characteristics. *Journal of Higher Nervous Activity*, 2003, vol. 53, no. 4, pp. 485–494. (in Russ.)
22. Rustamova T.V. Effect of examination stress on the age dynamics of 20-year-old phlegmatic temperament student vegetative indicators. *Bulletin of Science and Practice*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 213–216. (in Russ.)
23. Spiridonova M.D. Features of EEG power spectra when experiencing fear. *Young Scientist*, 2013, no. 8, pp. 130–132. (in Russ.)
24. Yatsenko M.V., Kamenek L.K. Analysis of brain functional status in students with high and low rates of mental activity. *Ulyanovsk Medico-biological Journal*, 2018, no. 2, pp. 100–109. (in Russ.)
25. Zakirova L.M., Burganova N.T., Khamitova L.M. Development of Constructive Features of Intelligence in the Process of Professional Training. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, vol. 191, pp. 773–776.
26. Rodríguez-Romo G., Acebes-Sánchez J., García-Merino S., Garrido-Munoz M., Blanco-Garcia C., Diez-Vega I. Physical Activity and Mental Health in Undergraduate Students. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, vol. 23, no. 20(1), p. 195.
27. Antropova L.K., Kulikov V.Yr. Semantic verbal fraud: features of eeg indicators under cognitive load in students. *Psychophysiology News*, 2018, no. 3, pp. 100–107. (in Russ.)
28. Turbasova N.V., Karpov N.V., Elifanov A.V. Bioelectric activity features of the brain in final-year female students depending on their anxiety level. *Human. Sport. Medicine*, 2018, no. 3, pp. 37–46. (in Russ.)
29. Boksem M.A., Meijman T.F., Lorist M.M. Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biol. Psychol*, 2006, vol. 72, pp. 123–132.
30. Babiloni C., Barry R.J., Başar E., Blinowska K.J., Cichocki A., Drinkenburg W.H.I.M., Klimesch W., Knight R.T., Lopes da Silva F., Nunez P., Oostenveld R., Jeong J., Pascual-Marqui R., Valdes-Sosa P., Hallett M. International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) – EEG research workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies. *ClinNeurophysiol*, 2020, vol. 131(1), pp. 285–307.
31. Basar, E. A review of alpha activity in integrative brain function: fundamental physiology, sensory coding, cognition and pathology. *Int J Psychophysiol*, 2012, vol. 86 (1), pp. 1–24.
32. Zhozhikashvili N.A., Bakumova A.D. Alpha and theta rhythms as markers of cognitive effort. *Russian Psychological Journal*, 2022, no. 2, pp. 201–219. (in Russ.)
33. Trushina D.A., Vedyasova O.A., Pavlenko S.I. Spatial pattern of electroencephalogram rhythms in right-handed students with different anxiety levels at rest and during examination stress. *Ulyanovsk Medico-Biological Journal*, 2016, no. 2, pp. 141–150. (in Russ.)
34. Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Levin E.A., Slobodskoy-Plyusnin Y.Y., Bocharov A.V. EEG correlates of anxiety. *Siberian Scientific Medical Journal*, 2009, no. 1, pp. 74–80. (in Russ.)
35. Foong R., Ang K.K., Quek C., Guan C., Phua K.S., Kuah C.W.K., Deshmukh V.A., Yam L.H.L., Rajeswaran D.K., Tang N., Chew E., Chua K.S.G. Assessment of the efficacy of EEG-based MI-BCI with visual feedback and EEG correlates of mental fatigue for upper-limb stroke rehabilitation. *IEEE Trans. Biomed. Eng*, 2019, vol. 67, pp. 786–795.
36. Paul L., Srinivasan N., Srinivasan R. Electro-encephalogram. *Scholarpedia*, 2007, no. 2(2), p. 1348
37. Griffiths B.J., Jensen O. Gamma oscillations and episodic memory. *Trends in Neurosciences*, 2023, vol. 46, pp. 832–846.
38. Griffiths B.J., Parish G., Roux F., Michelmann S., van der Plas M., Kolibius L.D., Chelvarajah R., Rollings D.T., Sawlani V., Hamer H., Gollwitzer S., Kreiselmeyer G., Staresina B., Wimber M., Hanslmayr S. Directional coupling of slow and fast hippocampal gamma with neocortical alpha/beta oscillations in human episodic memory. *ProcNatl-AcadSci U S A*, 2019, vol. 116, pp. 21834–21842.
39. Heusser A.C., Poeppel D., Ezzyat Y., Davachi L. Episodic sequence memory is supported by a theta-gamma phase code. *Nat. Neurosci*, 2016, vol. 19, pp. 1374–1380.
40. Azadi M.M., Maleki A. Fatigue factors and fatigue indices in SSVEP-based brain-computer interfaces: a systematic review and meta-analysis. *Front. Hum. Neurosci*, 2023, vol. 17, pp. 1–16.

41. Frohlich J., Toker D., Monti M.M. Consciousness among delta waves: a paradox? *Brain*, 2021, vol. 144(8), pp. 2257–2277.
42. Cohen M.X. Where Does EEG Come From and What Does It Mean? *Trends Neurosci*, 2017, vol. 40(4), pp. 208–218.
43. Rustamova T.V. Influence of examination stress on EEG amplitude in the cerebral sphere of the brain of students of the faculty of biology-chemistry with different individual typological features. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, no. 5, pp. 97–112. (in Russ.)
44. Sultanov M.B., Ismaylova Kh.Yu. Electro-encephalographic study of prefrontal cortex among youth athletes has given their temperament. *Bulletin of Udmurt University. Series "Biology. Earth Sciences"*, 2022, no. 4, pp. 431–438. (in Russ.)
45. Tyng C.M., Amin H.U., Saad M.M., Malik A.S. The Influences of Emotion on Learning and Memory. *Front Psychol*, 2017, vol. 8, p. 1454.
46. Roy T., Saroka K.S., Hossack V.L., Dotta B.T. The Effects of Exam-Induced Stress on EEG Profiles and Memory Scores. *BehavSci (Basel)*, 2023, vol. 13(5), p. 373.
47. Grammer J.K., Xu K., Lenartowicz A. Effects of context on the neural correlates of attention in a college classroom. *NPJ Sci. Learn*,2021, vol. 6(15), pp. 1–4.
48. Rajendran V.G., Jayalalitha S., Adalarasu K. EEG Based Evaluation of Examination Stress and Test Anxiety Among College Students. *IRBM*, 2022, vol. 43, pp. 349–361.
49. Asaadi A.H., Amiri S.H., Bosaghzadeh A., Ebrahimpour R. Effects and prediction of cognitive load on encoding model of brain response to auditory and linguistic stimuli in educational multimedia. *Scientifc Reports*, 2024, vol. 14, p. 9133.
50. Ramírez-Moreno M.A., Díaz-Padilla M., Valenzuela-Gómez K.D., Vargas-Martínez A., Tudón-Martínez J.C., Morales-Menendez R., Ramírez-Mendoza R.A., Pérez-Henríquez B.L., Lozoya-Santos J.J. EEG-Based Tool for Prediction of University Students' Cognitive Performance in the Classroom. *Brain Sci*, 2021, vol. 11(6), p. 698.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Марина Алексеевна Попова – доктор медицинских наук, профессор, кафедры медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный педагогический университет», Сургут, e-mail: m_a_popova@mail.ru.
Марина Игоревна Чеберяк – аспирант кафедры медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный педагогический университет», Сургут, e-mail: cheberyak.marina@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Marina A. Popova – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines and Life Safety, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: m_a_popova@mail.ru.
Marina I. Cheberyak – Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Disciplines and Life Safety, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: cheberyak.marina@mail.ru.

Для цитирования: Попова, М. А. Методологические аспекты исследования нейрофизиологических характеристик когнитивных нагрузок студентов в процессе обучения (обзор литературы) / М. А. Попова, М. И. Чеберяк // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_10

For citation: Popova M.A., Cheberyak M.I. Methodological aspects of students' neurophysiological characteristics of cognitive structures in the learning process (literature review). *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_10