

Оцінювання психологічного стресу спортсменів за допомогою методу електроенцефалографії

УДК 796.071.2 : 159.952.3 + 615.84

О. І. Корбуш, С. В. Федорчук

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Резюме. Проведено всебічний аналіз методів оцінювання психічного стресу з використанням електроенцефалограми (ЕЕГ). *Мета.* Вивчення взаємозв'язку між психологічним стресом та характеристиками електричної активності мозку спортсменів та аналіз актуальних методів обробки ЕЕГ-сигналів для оцінювання рівня стресу в практиці спорту. *Методи.* Теоретичний аналіз і узагальнення літературних джерел та даних мережі Інтернет. *Результати.* Виявлено, що спектральні характеристики ЕЕГ можуть бути важливими показниками для виявлення стресових станів. Пасивні, невпевнені та схильні до стресів особи мають виражену альфа-активність, тоді як позитивні емоційні реакції та стрес викликають збільшену бета-активність. Різні стресори можуть впливати на різні ділянки мозку, а функціональна зв'язність між різними ділянками мозку може варіювати залежно від виду стресу. Вибір відповідного методу аналізу ЕЕГ є складним завданням через багатофакторну природу експериментів, таких як тип стресора, датчики ЕЕГ, розмір вибірки. Результати дослідження можуть вказати на можливі шляхи подальшого вивчення та розробки комплексних підходів до визначення рівня психічного стресу на основі аналізу ЕЕГ. У статті здійснено всебічний огляд методів аналізу сигналів ЕЕГ для оцінювання психічного стресу в контексті спорту. Виявлені основні фактори, що впливають на результати, вказують на важливість досліджень у цій галузі. Різноманітність підходів до обробки даних та розуміння взаємозв'язку між психічним стресом та ЕЕГ-характеристиками вказують на потенціал для подальших досліджень і розробок у цій галузі, сприяючи досягненню кращих результатів у спортивній підготовці та забезпеченню благополуччя спортсменів.

Ключові слова: електроенцефалографія, психічний стрес, методи аналізу, спектральні характеристики, спорт.

Assessment of athletes' psychological stress by means of electroencephalography method

O. I. Korbush, S. V. Fedorchuk

National University of Physical Education and Sport of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. A comprehensive analysis of methods for assessing mental stress using an electroencephalogram (EEG) was conducted. *Objective.* To study the relationship between mental stress and the characteristics of brain electrical activity of athletes and to analyze current methods of processing EEG signals to assess the level of stress in sports practice. *Methods.* Theoretical analysis and generalization of literature and Internet data. *Results.* It was found that the spectral characteristics of EEG can be important indicators for detecting stressful conditions. Passive, underconfident, and liable to stress individuals have pronounced alpha activity, while positive emotional reactions and stress cause increased beta activity. Different stressors can affect various parts of the brain, and the functional connectivity between different brain areas can vary depending on the type of stress. Choosing an appropriate method for EEG analysis is a challenging task due to the multifactorial nature of experiments, such as the type of stressor, EEG sensors, and sample size. The findings may indicate possible ways of further studying and developing integrated approaches to determining the mental stress level based on EEG analysis. The article provides a comprehensive review of methods for analyzing EEG signals to assess mental stress in the context of sports. The identified main factors influencing the results indicate

the importance of research in this area. The variety of approaches to data processing and the understanding of the relationship between mental stress and EEG characteristics indicate the potential for further research and development in this area, contributing to better results in sports training and ensuring the well-being of athletes.

Keywords: electroencephalography, mental stress, analysis methods, spectral characteristics, sport.

Постановка проблеми. Питання про зв'язок різних емоційних станів з конкретними патернами фізіологічної відповіді давно цікавить дослідників в сфері емоцій. Незважаючи на доказове підтвердження специфічності автономної (периферійної) фізіологічної відповіді [22], багато інших досліджень вказують на те, що фізіологічні відображення емоцій, ймовірно, можна знайти у центральній нервовій системі (ЦНС), а не лише в периферійних фізіологічних реакціях [17]. Дослідники підтримують це положення, використовуючи електроенцефалографію (ЕЕГ) та інші методи нейровізуалізації (наприклад, функціональна магнітно-резонансна томографія, фМРТ) для дослідження специфічності мозкової активності, пов'язаної з різними емоційними станами [24].

В умовах постійного напруження в спорті, спортсмени часто зазнають ментального стресу, який може впливати на їхні спортивні досягнення та загальний стан здоров'я. Ментальний стрес визначається як реакція організму на різноманітні психологічні, фізичні та емоційні фактори, контрольована симпатичною нервовою системою та гіпоталамо-гіпофізарно-наднирковою системою [27]. Цей термін може використовуватися до внутрішніх (структура особистості) чи зовнішніх (вирішення проблем) чинників, які спричиняють різноманітні фізіологічні та емоційні зміни. В науковій літературі визначено три типи стресу: гострий, епізодичний і хронічний [21]. Гострий стрес пов'язаний з короткотривалим впливом і не є шкідливим. Епізодичний виникає тоді, коли подразник діє частіше, але обмежено в часі [8]. Натомість хронічний стрес є найбільш шкідливим, він виникає внаслідок постійної та тривалої дії джерел стресу [9]. Кілька досліджень підтверджують, що ментальний стрес має безпосередні фізіологічні ефекти, що можуть призводити до різних захворювань, таких як інсульт, серцево-судинні захворювання, порушення когнітивних функцій, мови та депресії [10].

Підвищення стресостійкості та розробка стратегій подолання стресових ситуацій можуть відігравати важливу роль у поліпшенні спортивної продуктивності та досягненні високих результатів. Розуміння, як конкретні емоційні стани впливають на фізіологічну відповідь спортсменів, може допомогти в розробці індивідуальних під-

ходів до підготовки та планування тренувань. Також здатність прогнозування реакції на стрес може сприяти зниженню ризику розвитку різних захворювань, пов'язаних з ментальним стресом, та забезпечити більш здоровий та стійкий стан спортсменів під час змагань та тренувань.

Роботу виконано у Науково-дослідному інституті НУФВСУ відповідно до тематичного плану наукових досліджень та розробок, які виконує Національний університет фізичного виховання та спорту України за рахунок коштів державного бюджету у 2023 р., за темою «Прогнозування стресореактивності спортсменів та військово-службовців в умовах періоду глобальних змін і невизначеності за психофізіологічними та нейрофізіологічними критеріями» (номер держреєстрації № 0123U102226).

Мета дослідження — вивчення взаємозв'язку між психологічним стресом та характеристиками електричної активності мозку спортсменів та аналіз актуальних методів обробки ЕЕГ-сигналів для оцінювання рівня стресу у практиці спорту.

Методи дослідження: теоретичний аналіз і узагальнення літературних джерел та даних мережі Інтернет.

Результати дослідження. Оцінювання психічного стресу в спортивному середовищі створює певні виклики через індивідуальні особливості його сприйняття кожним спортсменом [15]. Крім того, надійність оцінювання залежить від методу аналізу. Традиційно стрес оцінюють за допомогою суб'єктивних методів, найпоширенішим є самозвітні анкети, такі як шкала сприйняття стресу [25, 35]. Проте анкети суб'єктивні та вимагають повної уваги користувача. В результаті спортсмени не завжди поінформовані про свій справжній рівень стресу. Таким чином, процедури, такі як самозвітні анкети, можуть призвести до неточного вимірювання рівня стресу. Крім того, вони здаються менш інформативними, ніж фізіологічні показники. Дослідники визначили кілька фізіологічних вимірювань стресу, таких як варіабельність серцевого ритму, електродермальна активність, електроміограма, артеріальний тиск, діаметр зіниці, рівень кортизолу та альфа-амілази в слині тощо [13].

Різнноманітні методи нейровізуалізації використовуються для оцінювання стресу шляхом

прямого або непрямого вимірювання активності мозку. Серед них функціональна спектроскопія ближнього інфрачервоного діапазону (fNIRS), ЕЕГ [2], позитронно-емісійна томографія (ПЕТ) [6] та фМРТ [24]. Метод ЕЕГ має деякі переваги, такі як висока часова роздільна здатність, низькі витрати та легкість використання. Тому це найбільш використовуваний метод для аналізу психічних станів, включаючи стрес [16]. Існують три категорії характеристик ЕЕГ: у часовій зоні, частотній зоні та зоні синхронності [12].

Об'єкти в часовій зоні фіксують тимчасову інформацію, використовуючи амплітуду, пов'язану з енергією, мінливістю, коефіцієнтом варіації, характеристикою Хьорта, характеристикою фрактальної розмірності та характеристикою перетину вищого порядку. З іншого боку, найбільш використовувані ознаки у частотному домені отримуються з клінічних частотних діапазонів сигналу ЕЕГ: дельта (0,5–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета (14–30 Гц) і гамма (30–50 Гц) [20]. Ці мозкові ритми містять відповідну інформацію, пов'язану з психічним стресом та іншими психологічними станами. Зазвичай використовують спектральні ознаки ЕЕГ, такі як спектральна щільність потужності (СЩП), диференціальні характеристики асиметрії, фазова синхронізація, індекс фазового запізнення, спрямована передатна функція та ентропія [4]. Крім того, частотно-часові характеристики визначаються за допомогою короткочасного перетворення Фур'є або дискретного вейвлет-перетворення [26]. Висновки подальших досліджень щодо використання методів аналізу сигналу ЕЕГ для оцінювання психічного стресу є суперечливими, що утруднює розвиток подальших досліджень. Щоб усунути ці труднощі, метою даної роботи було проведення всебічного огляду сучасного стану опублікованих методів аналізу ЕЕГ при психічному стресі та пропозиції потенційних напрямів майбутніх досліджень.

Розглянемо важливі аспекти генерації сигналів ЕЕГ та їх інтерпретацію з точки зору функціональної зв'язаності та ефективності взаємодії між різними джерелами активності в мозку. Основна мета дослідження ЕЕГ — зв'язати різні показники нейронних ритмів з функціональними станами мозку, відобразити когнітивні здібності, поведінку або невропатологію [30]. Кожен сигнал ЕЕГ генерується шляхом накладання кількох джерел струму в мозку. Залучення кожного джерела варіює залежно від місця його розташування й орієнтації і вимірювальних електродів. Деякі дослідники проявили інтерес до функціонального або ефективного зв'язку [14, 26]. Про-

те різні форми даних, що використовуються для оцінювання функціональної зв'язаності, різняться за багатьма параметрами, включаючи часову і просторову інформацію, а також тим, чи відображають дану електричну активність нейронів, активність нейронного ансамблю або гемодинаміку макроскопічних ділянок мозку.

Інформація у сигналі ЕЕГ надходить зі складної та щільної мережі взаємопов'язаних нейронів. Отже, вивчення зв'язків мозку може дати нам більш точну модель мозку і того, як його різні ділянки взаємодіють між собою. Існують два типи зв'язності мозку: функціональна і ефективна [14]. Функціональна зв'язність демонструє взаємозв'язки між різними частинами мозку, що відображається на тимчасовій узгодженості між мережами. Ефективна зв'язність є найпростішою схемою, що описує експериментально досягнутий взаємозв'язок між двома нейронами. Це пояснює, як нервова система впливає на інші системи. Таким чином, функціональні та ефективні показники зв'язності важливі при спробі зрозуміти стан мозку в умовах стресу і без нього.

Далі буде наведено огляд найбільш поширених методів обробки сигналів ЕЕГ, спрямовані на отримання суттєвої інформації з частотної зони. Спектральні характеристики — це характеристики, отримані з сигналу ЕЕГ в частотній зоні. Щоб мати значущу інформацію про ЕЕГ, важливо перевірити процес сегментації ЕЕГ для отримання стаціонарного сигналу.

Спектральна щільність потужності (СЩП) призначена для визначення розподілу потужності сигналу ЕЕГ у часовій зоні по частотному діапазону, і це надає важливу інформацію про активацію кори головного мозку. Зокрема, СЩП корисна під час опису випадкового процесу сигналу та оцінювання коротких записів даних [5]. Існує кілька методів, що застосовуються для оцінювання СЩП, наприклад, швидке перетворення Фур'є (FFT), Уелч, Бург, Юо Уолкер, метод Велча. У кількох дослідженнях продемонстровано ефективність використання СЩП для оцінювання рівня стресу. Наприклад, Al-shargie et al. [3] повідомили, що психічний стрес знижував спектральну щільність потужності ЕЕГ в альфа-діапазоні. Згідно з даними Al-shargie et al. [2], найбільш доміантною структурою кори головного мозку, яка бере участь у виявленні стресу, є права префронтальна кора. Виявлено, що переважання тета-ритму разом з повільною високоамплітудною альфа-активністю характерні для осіб, які виявляють пасивність, невпевненість, залежність і схильні до стресових реакцій. Водночас виразна бета-активність або швидкий альфа-ритм у поєд-

нанні з нею вказують на пасивність особистості з вираженими прагненнями та емоційними реакціями, високим рівнем напруженості та тривожності, нестійкими внутрішньоособистісними та міжособистісними відносинами [1].

В інших дослідженнях використовували абсолютну потужність (АП) як показник стресу. Точка доступу в певній смузі частот обчислюється шляхом ділення абсолютного значення швидкого перетворення Фур'є сигналу ЕЕГ на довжину сигналу [28]. Між тим, в дослідженнях Vuppalapati et al. [33] використовували відносну потужність (ВП) для перевірки ритму сигналу ЕЕГ шляхом знаходження співвідношення між потужністю кожної смуги та потужністю всіх смуг. Arsalan et al. [7] виявили, що застосування АП при виявленні / відсутності стресу показує значну різницю у тета-діапазоні (4–7 Гц) порівняно з іншими діапазонами, тоді як у випадку ВП повідомляли, що при підвищенні рівня стресу ВП знижується [31]. Отже, ВП показав кращу продуктивність порівняно з АП, незважаючи на його чутливість до шуму і відкриття пам'яті [28]. Докладні математичні вирази для методів АП і ВП визначені в дослідженні Subhani et al [31].

Нижче наведено огляд широко використовуваних часових характеристик для кількісного оцінювання психічного стресу.

Ентропія Шеннона використовується для оцінювання нерівномірності сигналу ЕЕГ і для кількісного оцінювання розподілу енергії в спектрі потужності шляхом аналізу часових рядів ЕЕГ. Це приводить нас до знання про роботу мозку під час різних станів для виявлення психічного стресу. Таким чином, дослідження, проведене Sulaiman et al. [32], показало, що група з найвищим індексом стресу (високий психічний стрес) зазвичай має найнижчу ентропію альфа-діапазону. Zhu et al. [36] використовували засновану на віртуальній реальності релаксаційну терапію для зняття стресу шляхом оцінювання змін ентропії Шеннона. Вони повідомили про тенденцію підвищення ентропії в альфа-діапазоні до і після використання віртуальної реальності.

Фрактальна розмірність Хігучі (ФР) – це оцінювання нерегулярності, складності та нелінійних властивостей сигналу ЕЕГ, де високі й низькі значення ФР пов'язані з нерегулярними та регулярними формами сигналу відповідно [15]. ФР Хігучі забезпечує значний аналіз фаз стресу шляхом обчислення фрактальної розмірності, що корисно під час тестування хаотичної поведінки мозку в режимі реального часу під час хронічного психічного стресу [19]. Дослідження Wang et al. [34] показали, що поєднання ФР

зі статистичними характеристиками перевершує характеристики спектральної потужності. Підвищення комплексного показника ЕЕГ реєструється в лобовій ділянці при використанні ментального арифметичного стресора [34]. Основний інтерес до ФР полягає в його незалежності від природи сигналу і високої ефективності, але він чутливий до якості запису (артефактів сигналу) і залежить від частотних діапазонів аналізу, а його продуктивність буде низькою, якщо застосовується окремо [18].

Дискусія. В більшості розглянутих досліджень повідомлялося про високу альфа-активність під час станів релаксації порівняно зі стресовими станами. Зокрема, значне збільшення спектральної потужності більш очевидне після застосування стимулу. Гамма-активність на ЕЕГ показала різний відгук, але в цілому щодо зниженої гамма-активності може спостерігатися як в розслаблених, так і в стресових ситуаціях. Що стосується швидкого бета-діапазону, то він володіє значною позитивною взаємодією, що вказує на сильніше збільшення стресових фаз. Крім того, центральні та тім'яно-скронева ділянки кори головного мозку є найбільш залученими з альфа- і повільною бета-активацією.

Різні стресори можуть бути використані для створення психічного стресу, що приводить до різних уражень ділянок мозку. Періоди іспитів у студентів можуть бути використані для дослідження розвитку довгострокових психологічних стресорів. Згідно Darzi et al. [11], тривалий стрес впливає на функціональну зв'язність скронево-тім'яної, лівої центральної та скроневої ділянок. Крім того, у разі музичних стресорів і відеороликів префронтальна ділянка мозку продемонструвала підвищену активність при використанні двох електродів ЕЕГ для отримання відмінностей між двома лобовими ділянками [29]. Lotfan et al. [23] використовували соціальний стрес-тест Трієра (TSST), який включає вільне мовлення і завдання з розумової арифметики перед аудиторією, щоб викликати помірний психосоціальний стрес. Вимірювання мозкової зв'язності показали, що дві ситуації, у тому числі до і через 20 хв після впливу TSST, викликали однаковий рівень стресу.

Стрес негативно впливає на різні системи людського організму, такі як нервова, імунна, серцево-судинна і травна. Оцінювання та аналіз психічного стресу є дуже важливими процедурами, які можуть бути виконані для виявлення стресу з метою запобігання серйозних проблем зі здоров'ям. Незважаючи на кількість досліджень, в яких розглядався цей феномен з використанням методу ЕЕГ, не вистачає комплексних

рекомендацій до взаємозв'язку між функцією ЕЕГ і методами оцінювання рівня стресу. Ми провели всебічний огляд методів аналізу ЕЕГ-сигналів, що базуються на психічному стресі, зокрема, виявили, що вибір правильного методу аналізу є складним завданням через різноманітність факторів, які безпосередньо пов'язані з експериментами. Ці фактори включають: датчик ЕЕГ, розмір вибірки, тип стресора, тривалість завдання, час доби, належну обробку ЕЕГ. Отже, істотна частина, пов'язана з кількісним оцінюванням психічного стресу, полягає у виборі найбільш відповідних характеристик. Інший випадок, що викликає стурбованість, — це велика розбіжність між індивідами і їх реакцією на стрес. Наприклад, у конкретного суб'єкта може бути набута різка реакція на стрес залежно від його особистісних властивостей, соціальності, здоров'я, емоційного стану тощо.

Методи кількісного оцінювання психічного стресу з використанням ЕЕГ розрізняються за спектром аналізу. Як зазначалося раніше, оскільки мозок діє як мережа, для повного розуміння нейронної обробки потрібні дескриптори мере-

жевого функціонування, тобто параметри, які відображають взаємозв'язки та взаємодію між різними ділянками мозку. У цій роботі представлено всебічний огляд методів аналізу.

Висновки. В статті представлено всебічний огляд методів аналізу сигналів ЕЕГ для оцінювання психічного стресу в контексті спорту. Огляд дозволив нам виділити основні фактори, які впливають на отримані результати. Важливо відзначити, що різноманітність у виборі ділянок мозку, типів стресорів, тривалості експерименту, обробки сигналу ЕЕГ значно впливає на об'єктивність та узагальненість отриманих результатів. Розуміння взаємозв'язку між психічним стресом та характеристиками ЕЕГ вимагає інтеграції різних методів аналізу даних.

Наш огляд наголошує на важливості досліджень з використанням сигналів ЕЕГ для оцінювання психічного стресу у спортсменів. Детальне дослідження та розуміння методів аналізу можуть допомогти вдосконалити підхід до виявлення та управління стресом, сприяти підвищенню спортивних досягнень та загального благополуччя спортсменів.

Література

1. Тукаєв СВ. Патерни електроенцефалограм, пов'язані з різним рівнем майстерності у спортсменів в ігрових видах спорту. Науково-методологічні дослідження у фізичній культурі і спорті, фізичній терапії, ерготерапії, туризмі: колективна монографія. [Patterns of electroencephalograms associated with different skill levels of athletes in game sports. Scientific and methodological research in physical culture and sports, physical therapy, ergotherapy, tourism: a collective monograph] Київ; 2021; Т. 2: 180-190. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/787878787/3613/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F%20%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D1%80%D1%87%D1%83%D0%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Al-Shargie FM, Tang TB, Badruddin N, Kiguchi M. Mental stress quantification using EEG signals; Proceedings of the International Conference for Innovation in Biomedical Engineering and Life Sciences; Putrajaya, Malaysia. 2015; 15–19, doi:10.1007/978-981-10-0266-3_4.
3. Al-Shargie FM, Tang TB, Badruddin N, Kiguchi M. Simultaneous measurement of EEG-fNIRS in classifying and localizing brain activation to mental stress; Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA); Kuala Lumpur, Malaysia. 282-286, doi:10.1109/icsipa.2015.7412205.
4. Alyan E, Saad NM, Kamel N, Yusoff MZ, Zakariya MA, Rahman MA, Guillet C, Merienne F. Frontal Electroencephalogram Alpha Asymmetry during Mental Stress Related to Workplace Noise. *Sensors*. 2021;21:1968, doi:10.3390/s21061968.
5. Ameera A, Saidatul A, Ibrahim Z. Analysis of EEG Spectrum Bands Using Power Spectral Density for Pleasure and Displeasure State; Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; Kazimierz Dolny, Poland. 2019: 012030, doi:10.1088/1757-899x/557/1/012030.
6. Arrighi JA, Burg M, Cohen IS, Kao AH, Pfau S, Caulin-Glaser T, Zaret BL, Soufer R. Myocardial blood-flow response during mental stress in patients with coronary artery disease. *Lancet*. 2000;356:310-311, doi:10.1016/S0140-6736(00)02510-1.
7. Arsalan A, Majid M, Butt AR, Anwar SM. Classification of perceived mental stress using a commercially available EEG headband. *IEEE Journal. Biomed. Health Inform.* 2019;23:2257-2264, doi:10.1109/JBHI.2019.2926407.
8. Bakker J, Pechenizkiy M, Sidorova N. What's your current stress level? Detection of stress patterns from GSR sensor data; Proceedings of the 2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops; Vancouver, BC, Canada. 2011: 573–580, doi:10.1109/icdmw.2011.178.
9. Colligan TW, Higgins EM. Workplace stress: Etiology and consequences. *Journal. Workplace Behav. Health*. 2006;21:89-97, doi:10.1300/J490v21n02_07.
10. Crowley OV, McKinley PS, Burg MM, Schwartz JE, Ryff CD, Weinstein M, Seeman TE, Sloan RP. The interactive effect of change in perceived stress and trait anxiety on vagal recovery from cognitive challenge. *Int. Journal. Psychophysiol.* 2011;82:225-232, doi:10.1016/j.jpsycho.2011.09.002.
11. Darzi A, Azami H, Khosrowabadi R. Brain functional connectivity changes in long-term mental stress. *Journal Neurodev. Cogn.* 2019;1:16-41, doi:10.52547/JNCOG.2022.103423.
12. Ehrhardt NM, Fietz J, Kopf-Beck J, Kappelman N, Brem AK. Separating EEG correlates of stress: Cognitive effort, time pressure, and social-evaluative threat. *Eur. Journal. Neurosci.* 2021;1-10, doi:10.1111/ejn.15211.
13. Giannakakis G, Grigoriadis D, Giannakaki K, Simantiraki O, Roniotis A, Tsiknakis M. Review on psychological stress detection using biosignals. *IEEE Trans. Affect. Comput.* 2019;1-16, doi:10.1109/TAFFC.2019.2927337.
14. Horwitz B. The Elusive Concept of Brain Connectivity. *Neuroimage*. 2003;19:466-470, doi:10.1016/S1053-8119(03)00112-5.
15. Hou X, Liu Y, Sourina O, Tan Y.R.E., Wang L, Mueller-Wittig W. EEG based stress monitoring; Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics; Hong Kong, China. 9–12 October 2015; pp. 3110-3115, doi:10.1109/SMC.2015.540.
16. Hu B, Peng H, Zhao Q, Hu B, Majoe D, Zheng F, Moore P. Signal quality assessment model for wearable EEG sensor on prediction of mental stress. *IEEE Trans. Nanobiosci.* 2015;14:553-561, doi:10.1109/TNB.2015.2420576.
17. Izard CE. Basic Emotions, Natural Kinds, Emotion Schemas, and a New Paradigm. *Perspect Psychol Sci.* 2007;2(3):260-280, doi:10.1111/j.1745-6916.2007.00044.x.

18. Kesić S, Spasić SZ. Application of Higuchi's fractal dimension from basic to clinical neurophysiology: A review. *Comput. Methods Programs Biomed.* 2016;133:55–70, doi: 10.1016/j.cmpb.2016.05.014.
19. Khosrowabadi R, Quek C, Ang KK, Tung SW, Heijnen M. A Brain-Computer Interface for classifying EEG correlates of chronic mental stress; Proceedings of the 2011 International Joint Conference on Neural Networks; San Jose, CA, USA. 31 July–5 August 2011: 757-762, doi: 10.1109/IJCNN.2011.6033297.
20. Kulkarni N, Phalle S, Desale M, Gokhale N, Kasture K. A Review on EEG Based Stress Monitoring System Using Deep Learning Approach. *Mukt Shabd Journal.* 2020;9:1317-1325.
21. Lazarus J. *Stress Relief & Relaxation Techniques.* McGraw Hill Professional; New York, NY, USA; 2000.
22. Lee YY, Hsieh S, Weng CY, Sun CR, Liang KC. Patterns of autonomic activity differentiate emotions induced by film clips. *Chin Journal Psychol.* 2012;54:527-60.
23. Lofan S, Shahyad S, Khosrowabadi R, Mohammadi A, Hatf B. Support vector machine classification of brain states exposed to social stress test using EEG-based brain network measures. *Biocybern. Biomed. Eng.* 2019;39:199-213, doi: 10.1016/j.bbe.2018.10.008.
24. Mauss IB, Robinson MD. Measures of emotion: A review. *Cogn Emot* 2009;23(2):209-237, doi:10.1080/02699930802204677.
25. Monroe SM. Modern approaches to conceptualizing and measuring human life stress. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* 2008;4:33-52, doi: 10.1146/annurev.clinpsy.4.022007.141207.
26. Movahed RA, Jahromi GP, Shahyad S, Meftahi GH. A Major Depressive Disorder Classification Framework based on EEG Signals using Statistical, Spectral, Wavelet, Functional Connectivity, and Nonlinear Analysis. *Journal. Neurosci. Methods.* 2021;358:109-209, doi: 10.1016/j.jneumeth.2021.109209.
27. O'Connor DB, Thayer JF, Vedhara K. Stress and health: A review of psychobiological processes. *Annu. Rev. Psychol.* 2021;72:663–688, doi: 10.1146/annurev-psycho-062520-122331.
28. Park KS, Choi H, Lee KJ, Lee JY, An KO, Kim EJ. Patterns of electroencephalography (EEG) change against stress through noise and memorization test. *Int. Journal Med. Med Sci.* 2011;3:381-389, doi: 10.5897/IJMMS11.001.
29. Shon D, Im K, Park J-H, Lim D-S, Jang B, Kim .-M. Emotional stress state detection using genetic algorithm-based feature selection on EEG signals. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2018;15:1-11, doi: 10.3390/ijerph15112461.
30. Srinivasan R, Winter WR, Ding J, Nunez PL. EEG and MEG coherence: Measures of functional connectivity at distinct spatial scales of neocortical dynamics. *Journal. Neurosci. Methods.* 2007;166:41-52, doi: 10.1016/j.jneumeth.2007.06.026.
31. Subhani AR, Mumtaz W, Saad MNBM, Kamel N, Malik AS. Machine learning framework for the detection of mental stress at multiple levels. *IEEE Access.* 2017;5:13545-13556, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2723622.
32. Sulaiman N, Taib MN, Lias S, Murat ZH, Aris SAM, Mustafa M, Rashid NA. Development of EEG-based stress index; Proceedings of the 2012 International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE); Penang, Malaysia. 27–28 February. 2012: 461-466, doi: 10.1109/ICoBE.2012.6179059.
33. Vuppalapati C, Raghu N, Veluru P, Khursheed S. A system to detect mental stress using machine learning and mobile development; Proceedings of the 2018 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC); Chengdu, China. 15-18 July 2018: 161-166, doi: 10.1109/ICMLC.2018.8527004.
34. Wang Q, Sourina O. Real-time mental arithmetic task recognition from EEG signals. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2013;21:225-232, doi: 10.1109/TNSRE.2012.2236576.
35. Weiner IB, Craighead WE. State-Trait anxiety inventory. *Corsini Encycl. Psychol.* 2010;4:2002.
36. Zhu L, Tian X, Xu X, Shu L. Design and evaluation of the mental relaxation VR scenes using forehead EEG features; Proceedings of the 2019 IEEE MTT-S International Microwave Biomedical Conference (IMBioC); Penang, Malaysia. 27–28 February. 2019: 1-4, doi: 10.1109/IMBIOC.2019.8777812.

pravda.oleksandr13@gmail.com
lanasvet778899@gmail.com

Надійшла 08.08.2023