

# Дослідження сукупного впливу стресового фактору та музичного сигналу на психофізичний стан людини

Паренюк<sup>f</sup> А. В., ORCID [0000-0002-8882-5976](https://orcid.org/0000-0002-8882-5976)

Паренюк Д. В., ORCID [0000-0002-0734-3183](https://orcid.org/0000-0002-0734-3183)

Дрозденко К. С., к.т.н., ORCID [0000-0002-7653-600X](https://orcid.org/0000-0002-7653-600X)

Найда<sup>s</sup> С. А., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-5060-2929](https://orcid.org/0000-0002-5060-2929)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем, Факультет електроніки

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)

Київ, Україна

**Анотація**—Стаття присвячена дослідженню психофізичного стану людини під час сумарного впливу розтягнутого у часі стресового фактору та направлено акустичного впливу, що являє собою музичний сигнал низької частоти. Оскільки наявність дельта-хвиль в електроенцефалограмі відносно здорової людини в стані неспання може свідчити про перебування її в стані стресу, метою роботи є аналіз зміни вкладу дельта-хвиль головного мозку у його сумарну електричну активність під час прослуховування низькочастотного акустичного сигналу до та під час впливу стресогенного фактору. В статті використано спектральний аналіз відфільтрованих результатів запису нативної електроенцефалограми для отримання ритмів головного мозку. Показано, що під впливом значного навантаження на зареєстрованій електроенцефалограмі зростає відсотковий вклад дельта-хвиль у сумарну потужність, що говорить про збільшення психоемоційної напруженості. Для статистичного аналізу співвідношень між тестовими підгрупами використовувався непараметричний критерій Уїлкоксона. На підставі збільшення вкладу дельта-ритму у загальну потужність енцефалограми в межах порівняльних груп у діапазоні від 7,11 до 10,79 відсоткових пунктів обґрунтована переважна роль впливу розтягнутого у часі стресового фактору у формуванні психофізичного стану людини. За отриманими результатами зроблено висновок, що перебування людини в стані стресу нівелиєє корисний терапевтичний вплив низькочастотних музичних аудіостимулів, що був зареєстрований у вигляді зменшення відсоткового вкладу дельта-ритму у сумарну потужність отриманих сигналів в межах 2-3 відсоткових пунктів. Під час впливу суперпозиції стресових факторів та музичного сигналу було виявлено різницю менше одного відсотку.

**Ключові слова** — дельта-ритм; електроенцефалограма; акустичний музичний сигнал; стрес.

## I. Вступ

На сьогоднішній день актуальним напрямком в психоакустиці є застосування акустичних впливів з метою корекції фізіологічного, функціонального або психологічного стану людини [1], [2]. Для досягнення поставленої мети, наприклад, регуляції частоти пульсу, підвищення продуктивності виконуваної людиною роботи, покращення настрою, скорочення імовірності нападів у хворих епілепсією, зменшення проявів синдрому дефіциту уваги чи гіперактивності, полегшення стану при депресії використовуються різноманітні аудіо стимули [3]–[6]. Це можуть бути музичні фрагменти певних стилів — класична, фольклорна, духовна, поп-музика, окремі музичні елементи — звуки, ритми, шумові сигнали — білий, рожевий, коричневий шум тощо. Слід зазначити, що відбір музично-акустичних сигналів для проведення музичної терапії в більшості випадків носить суб'єктивний характер, тому використання навіть однакових творів

в деяких випадках призводить до протилежних результатів і висновків. Одним із варіантів вирішення даної проблеми може бути застосування спектрального і часового аналізу акустичних сигналів, що використовуються для аудіостимуляції, з одночасним пошуком зв'язку між їх об'єктивними характеристиками та закономірностями в зміні біоелектричної активності головного мозку до, під час та після акустичного впливу.

Для дослідження ефективності музичної терапії за допомогою сучасних електроенцефалографічних комплексів реєструють електроенцефалограму (ЕЕГ) і проводять її аналіз. Оскільки ЕЕГ відображає різницю електричних потенціалів постсинаптичних мембран нейронів, за зміною її частотних компонентів (ритмів) можна оцінити зміни в роботі головного мозку.

Основні ритми мозку — це альфа- (частота від 8 до 13 Гц, амплітуда 15-100 мкВ), бета- (частота



від 13 до 40 Гц, амплітуда 3-10 мкВ), дельта- (частота від 0,3 до 4 Гц, амплітуда 20-30 мкВ), тета- (частота від 4 до 7 Гц, амплітуда до 40 мкВ), і гамма-ритм (частота від 35 до 500 Гц, амплітуда зазвичай до 10 мкВ) [7].

Альфа-ритм максимально виражений в задніх (потиличних) відведеннях при закритих очах. Альфа-хвилі пов'язані з умінням людини розслабитися, здатністю долати стрес, а також засвоювати нову інформацію. У нормі відзначається зниження альфа-ритму на ЕЕГ при розплющенні очей, занепокоєнні, при активній розумовій діяльності, а також під час сну.

Бета-ритм має максимальну вираженість в лобово-центральному відведеннях. Він посилюється в період сонливості, при засинанні та іноді при пробудженні. В період глибокого сну амплітуда і вираженість бета-ритму істотно знижується. Посилення активності бета-ритму відзначається при прийомі психоактивних препаратів. Регіональне зниження бета-ритму одночасно зі зниженням альфа-ритму може говорити про структурне ушкодження або дефект кори головного мозку.

Максимальна вираженість тета-ритму зустрічається у дітей 4-6 років. Він може реєструватися на ЕЕГ здорової притомної людини під час емоційної активації. Однак поруч з цим існує безліч патологічних станів або змінених станів свідомості (сон, медитація), що супроводжуються розвитком продовженої і короткочасної тета-активності, більшість з яких вимагає проведення нейровізуалізації.

Дельта-ритм реєструється під час глибокого сну, при гіпервентиляції або в стані наркозу. Домінування дельта-активності у підлітків і дорослих в стані неспання — ознака патології. Виявляється у пацієнтів з наявністю енцефалопатій, що супроводжуються змінами рівня свідомості (кома), а також є ознакою важкого структурного мозкового порушення (пухлина, інсульт, травма, абсцес). В поодиноких роботах зустрічається інформація, що коливання в цьому діапазоні можуть бути ідентифіковані в сигналі ЕЕГ у стані спокою при деяких формах стресу.

В роботі [7], присвяченій дослідженню дельта-ритму при виконанні різних когнітивних процесів, автор зазначає, що функціональні дельта-коливання реєструються під час синхронізації мозкової діяльності з вегетативними функціями, в мотиваційних процесах, пов'язаних як з винагородою, так і з атавістичними захисними механізмами, у вищій емоційній діяльності, а також у когнітивних процесах, пов'язаних з увагою та виявленням мотиваційно помітних подразників у навколишньому середовищі. Під час виконання розумових завдань роль дельта-хвиль пов'язана з пригніченням чуттєвих стимулів, які перешкоджають внутрішній концентрації. Також відомо, що збільшення потужності дельта-коливань при виконанні розумових завдань відіграє роль бар'єру для всіх перешкод, які можуть вплинути на виконання завдання [7].

Як у людей, так і у гризунів, фронтальні  $\delta$ - та  $\theta$ -ритми пов'язані з когнітивним контролем та організацією цілеспрямованої діяльності. Часом зміни  $\delta$ -ритму пов'язані з різними захворюваннями мозку. Міжпівкульна та лобно-тім'яна  $\delta$ -синхронізація зменшується у пацієнтів із легкою хворобою Альцгеймера та судинною деменцією. [8]

Загалом існує кілька різних конкуруючих і в певній мірі перехрестних ідей про значення та механізми місцевого ритму дельти в стані бадьорості. Виникнення локальної дельти в певній частині мозку може бути пов'язане з неухважністю, непритомністю, або навіть сном у цій частині мозку. Докази, що підтверджують цю гіпотезу, походять із досліджень дельфінів, тюленів та птахів, які показують присутність у всій півкулі ритмічний дельта ритм та її (півкулі) перебування у стані повільного сну, тоді як інші відділи мозку знаходяться в активному стані. У цьому стані тварини свідомі, активні і зазвичай займаються руховими завданнями. Інша ідея, яка базується на спостереженні за пацієнтами з епілепсією, полягає в тому, що під час нападів та безпосередньо після них деякі кортикальні ланцюги можуть виявляти повільно-хвильову активність та дельта-ритм. У ці моменти пацієнти не знають про своє оточення і не реагують на подразники. Таким чином, згідно з цією гіпотезою, локальний дельта-ритм виникає, коли люди частково або повністю несвідомі. Експерименти на гризунах дозволяють припустити, що напади можуть ефективно зупинити висхідну активуючу систему, зокрема холінергічні нейрони і що це може пояснити як непритомність, так і уповільнення кори. На відміну від цих свідчень, є дані, що локальні кортикальні ланцюги, навіть локальні колони, можуть демонструвати диференційований дельта-ритм на основі попередньої активності в області мозку, тобто на основі попереднього навантаження та поточного метаболізму у відповідній частині мозку. Згідно з цією гіпотезою, стовпці, які були активними і задіяні в тому чи іншому завданні, можуть входити в ритми, схожі на сон, тоді як сусідні стовпці все ще активні. Ця гіпотеза також має експериментальну доказову базу, отриману у гризунів [9].

## II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В попередніх дослідженнях, що проводилися авторами, вивчалась біоелектрична активність головного мозку студентів при прослуховуванні низькочастотного аудіостимулу. При цьому спостерігалася позитивна динаміка альфа- і бета-ритмів, що говорить про те, що застосування такого роду сигналів допомагає уникати перезбуджень максимально активних ділянок мозку і таким чином запобігати формуванню патологічних вогнищ, а також сприяє відновленню роботи мозку в фізіологічних умовах на етапах функціональних перевантажень.

Однак, незважаючи на присутність позитивного ефекту від прослуховування низькочастотного музичного твору, в ЕЕГ всіх учасників експерименту, які на момент дослідження були практично здорові, не мали в анамнезі черепно-мозкових травм, виражених проблем слуху, а також захворювань центральної



нервової системи, фіксувалися дельта-хвилі, наявність яких в стані неспанья зазвичай вважається ознакою патології.

Якщо дослідити часові періоди, в які проводилися вимірювання, а це періоди до та під час залікової сесії, то можна пов'язати наявність в ЕЕГ дельта-ритмів з дією певних стресових факторів на учасників експерименту. Як відомо, стрес — це стан людини, що виникає у відповідь на екстремальні впливи, реакція організму на дію негативних факторів. Стресові фактори — це впливи на організм, які викликають реакцію напруги. До останніх відносять фізіологічні і психологічні фактори, зокрема, фізичні, інформаційні, емоційні навантаження.

За останнє десятиріччя в загальній картині стресу зросла значущість проблем, пов'язаних з навчальною діяльністю [10]. Значні навчальні навантаження, які пов'язані з великою кількістю завдань з різних видів дисциплін, серйозні емоційні переживання, необхідність обробки великого обсягу інформації викликають значне нервове напруження у студентів [11], [13]. На сьогодні окремою категорією виділяють таке поняття як екзаменаційний стрес [14].

В літературі описані різноманітні підходи в дослідженні прихованих та явних форм стресу. Це можуть бути суб'єктивні методи, що ґрунтуються на використанні опитувальників і тестів на визначення рівня тривожності та депресії за різними шкалами [15], [16], й об'єктивні, що включають дослідження шкірно-гальванічної реакції, ЕЕГ та фотоплетизмограм [17]. Поширені дослідження по вивченню впливу музичних творів на рівень стресу [18], [19], [20]. Зокрема, в [18] досліджується вплив музичних творів різних жанрів, що звучать англійською мовою і мовою урду, яке показало, що треки англійською мовою призводили до зниження рівня стресу краще. Такі висновки були зроблені на підставі результатів застосування алгоритмів послідовної мінімальної оптимізації, методу стохастичного градієнту та логістичної регресії. Серед жанрів значних відмінностей по впливу на стрес зафіксовано не було. Також в цій роботі було показано, що прояви стресу у жінок мають точніший відклик на музичний вплив, ніж у чоловіків. В статті [19] систематизовано дослідження, що проводилися протягом останніх десятиліть і були присвячені спробам зменшення рівня стресу із застосуванням різних аудіостимулів. Зміна рівня стресу оцінювалась по зміні альфа- і тета-хвиль. В [20] за оцінкою альфа-ритму вивчали вплив музики на короткотривалий стрес, який створювали учасникам дослідження безпосередньо під час проведення експерименту. Праці [16] і [21] присвячені спробі класифікувати стрес на підставі аналізу ЕЕГ. В них показано, що в якості можливого біомаркера довготривалого стресу можна розглядати асиметрію альфа- і бета-ритмів. В статті стрес [13] оцінювався по відношенню тета-ритму до альфа-ритму.

Проведений аналіз показав, що існує багато робіт по вивченню впливу музики окремо на стрес або на зміну параметрів альфа-, бета- або тета-хвиль. Однак відсутні роботи по дослідженню сукупного впливу

аудіостимулу та розтягнутого в часі стресу на електричну активність головного мозку, зокрема на дельта-ритм.

#### Задача і мета дослідження

Метою даної роботи є аналіз відношення вкладу дельта-хвиль головного мозку у його сумарну активність у відсотковому обсязі під час прослуховування низькочастотних акустичних сигналів до та під час дії стресогенного фактору, тобто під впливом суперпозиції стимулів.

Для досягнення мети були сформульовані наступні задачі:

- 1) Проаналізувати зміни рівня дельта-ритму до та після прослуховування низькочастотного музичного фрагменту.
- 2) Проаналізувати зміну рівня дельта-ритму до та під час непрямого впливу розтягнутих у часі стресових факторів.

В ході експериментів вивчався опосередкований вплив розтягнутого у часі (протягом декількох тижнів) навчального стресу, що призводить до збільшення психоемоційної напруженості. Перша серія досліджень проводилася на початку навчального семестру, друга — під час підвищеного навчального навантаження – в період після другого календарного контролю перед початком сесії. В той самий час музичний вплив був прямим – безпосередньо під час експериментів.

У рамках даного дослідження чисельне значення рівня напруженості визначалося відсотком вкладу  $\delta$ -ритму у загальну потужність енцефалограми – тобто чим вище відсоток, тим вище рівень стресу.

Дослідження проводилися на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського. В них приймали участь 5 осіб, з яких 2 – чоловіки і 3 – жінки у віці 18-22 років. Всього було проведено 14 експериментів – по 7 в чоловічій та жіночій групах. Кількість проведених сеансів на особу: 4 сеанси – 2 особи (1 чол., 1 жін.); 1 сеанс – 3 особи (2 чол., 1 жін.).

Перед початком експерименту всі вони надавали інформовану згоду на участь у проведенні досліджень та проходили тестування на визначення рівня вираженості тривоги та депресії за шкалою HADS.

Отримані результати було розділено на дві рівні групи (по 7 експериментів) – до початку непрямого впливу розтягнутих у часі стресових факторів (3 експерименти у жінок, 4 експерименти у чоловіків) та після (4 експерименти у жінок, 3 експерименти у чоловіків).

Реєстрація електроенцефалограми (ЕЕГ) відбувалася в 16 монополярних відведеннях з накладанням електродів на однаковій відстані один від одного над основними відділами головного мозку – лобними, центральними, тім'яними, потиличними, скроневими по міжнародній системі "10-20" (Рис. 1).



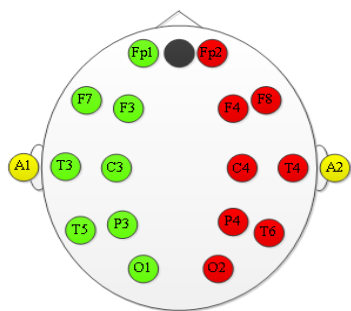


Рис. 1. Схема розміщення електродів

Електроди закріплювалися на голові респондента м'яким гумовим шоломом. Потенціали активних електродів вимірювались по відношенню до нульових референтних електродів, розміщених на мочках вух. Для дослідження використовували електроенцефалографічний комп'ютерний комплекс BRAINTEST-16 (ТОВ НВП "DX-системи", Україна, м. Харків).

Дослідження проводилося в звукоізольованій камері при комфортних температурних умовах в положенні сидячи. На першому етапі реєстрували фонову ЕЕГ в спокійно-розслабленому стані з закритими очима у відсутності акустичних подразрень.

Початкові дані записів реєстрували в смузі пропускання 0,16-100 Гц, а потім оцінювали за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) в діапазоні від 0,5 до 30 Гц (Рис. 2).

Для математичної обробки ЕЕГ застосовували методи цифрової фільтрації та спектрального аналізу [22] на безартефактних ділянках ЕЕГ (артефакти були видалені із досліджуваних записів на етапі первинної обробки результатів класичним методом [23]), записаної протягом наступних часових періодів: однієї хвилини перед початком музичного впливу, протягом хвилини прослуховування музики, та після закінчення акустичного фрагменту тишу тривалістю одну хвилину.

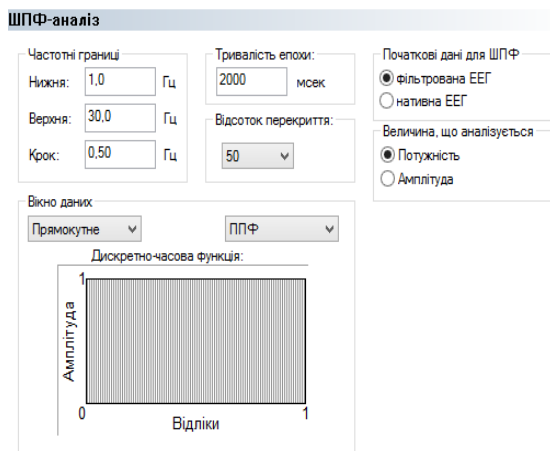


Рис. 2. Налаштування програми обробки результатів для проведення швидкого перетворення Фур'є

Статистичний аналіз отриманих даних проводиться з використанням програмного продукту BrainTest® електроенцефалографічного комп'ютерного комплексу BRAINTEST-16 та прикладних програм Microsoft® Excel® 2016 та STATISTICA.

Представлені у роботі дані є результатом спектрального аналізу відфільтрованого запису нативної електроенцефалограми, що перед фінальною обробкою були подані у відсотковому вкладі кожного з біоритмів у загальну потужність зареєстрованої ЕЕГ на підставі використання обчислювальних можливостей програми BrainTest®.

У якості музичного впливу була використана композиція Demon Wings гурту Bohren & der Club of Gore, спектральні характеристики якої були розглянуті у роботі [24] та наведені на Рис. 3. – головні піки сигналу якої знаходяться на 35 та 46 герцах.

Для аналізу використовували дані ЕЕГ, усереднені по певним групам відведень та показники для кожного відведення (Таблиця 1), що пізніше були усереднені по півкулям. Групи відведень були утворені таким чином, щоб відображувати стан певних ділянок головного мозку (лобних або скроневих часток) для різних півкуль.

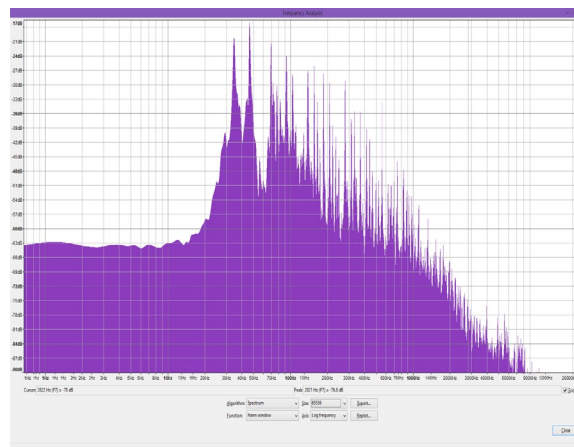


Рис. 3 Спектрограма фрагменту композиції On Demon Wings гурту Bohren &amp; der Club of Gore

ТАБЛИЦЯ 1 ДАНІ ЕЕГ, УСЕРЕДНЕНІ ПО ГРУПАМ ВІДВЕДЕНЬ

Півкуля	Відведення
Ліва	Fp1, F3, F7
Права	Fp2, F4, F8
Ліва	T3, T5
Права	T4, T6
Ліва	C3
Права	C4
Ліва	P3

Півкуля	Відведення
Права	P4
Ліва	O1
Права	O2
Ліва	Fp1, F3, F7, T3, T5, C3, P3, O1
Права	Fp2, F4, F8, T4, T6, C4, P4, O2

### III. РЕЗУЛЬТАТИ

Результати, отримані у періоді до та під час дії стресового фактору, представлені у Таблиця 2, де наведені середні значення відсоткового внеску  $\delta$ -ритму у повну потужність по двох півкулях, отримані значення параметрів  $Z$  та  $p$ , що визначають присутність статистично значимої різниці між рівнями вкладу  $\delta$ -ритму у відсотковому відношенні до сумарної потужності за різними критеріями (на першій та третій хвилинах експерименту та до та під час впливу стресового фактору) для тестових груп (групи містять по 7 вимірів). При цьому у роботі параметр  $\alpha$  (граничне значення рівня значимості) прийнято рівним 0,05, а параметр  $p$  визначає наявність або відсутність різниці між досліджуваними вибірками [25] – якщо його значення нижче 0,05, то нульова гіпотеза відхиляється, тобто наявні розбіжності є статистично значимими. Можливість застосування вибірок такого об'єму показана у [26]. За допомогою непараметричного тесту Уїлкоксона [27] було визначено наявність чи відсутність статистично значимої різниці між підгрупами [28]:

$$Z = \frac{U - m_w}{\sigma_w} \quad (1)$$

У формулі (1) складові  $m_w$  та  $\sigma_w$  мають наступний вигляд:

$$m_w = \frac{n(n+1)}{4} \quad (2)$$

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}} \quad (3)$$

У приведених формулах (1)-(3):  $n$  – розмір вибірки,  $U$  – менший індекс.

З 14 експериментів було сформовано 8 груп результатів, які згодом були сформовані в інші, порівняльні групи. Самі результати тесту складаються з відносних рівнів у відсотковому діапазоні  $\delta$ -ритмів біоелектричної активності мозку людини протягом тривалості тесту відносно загального рівня біоелектричної активності мозку.

Основним розподілом між тестовими групами було розміщення їх за часом щодо впливу фактору стресу – перша група (7 експериментів усього), які проходили до початку впливу стресу, позначаються як “д”, ті (7 експериментів усього), що реєструвались під час впливу позначаються як “п”.

ТАБЛИЦЯ 2 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДО ТА ПІД ЧАС ДІЇ СТРЕСОВОГО ФАКТОРУ

Тестова група	Номер порівняльної групи	Тест Уїлкоксона		
		Середнє значення відсоткового внеску $\delta$ -ритму у повну потужність	$Z$	$p$
д 1 лів	1	15,37	2,37	0,018
п 1 лів		22,48		
д 1 прав	2	14,43	2,37	0,018
п 1 прав		23,67		
д 3 лів	3	12,39	2,37	0,018
п 3 лів		22,79		
д 3 прав	4	12,21	2,37	0,018
п 3 прав		23,011		
д 1 лів	5	15,37	2,37	0,018
д 3 лів		12,39		
д 1 прав	6	14,43	2,2	0,028
д 3 прав		12,21		
п 1 лів	7	22,48	1,01	0,31
п 3 лів		22,79		
п 1 прав	8	23,67	1,18	0,24
п 3 прав		23,01		

Інший критерій розділу складався з хронометражу результатів у самому експерименті — було виділено дві розділові точки — результати першої хвилини (до музичного впливу) позначені цифрою “1”, результати третьої хвилини (після музичної експозиції) позначені цифрою “3”.

Словами «лів» та «прав» позначені результати відповідно для лівої та правої півкулі.

Відповідно до Таблиця 2, за відсотковим вкладом  $\delta$ -ритму у загальну потужність енцефалограми, порівняльні групи описують наступні співвідношення у семи вимірах тестових груп:

- Перша порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час першої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- Друга порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час першої хвилини запису даних з правої півкулі.



- Третя порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом третьої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- Четверта порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом третьої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з правої півкулі.
- П'ята порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна до впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- Шоста порівнює тестову групу, що реєструвалась до впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна до впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з правої півкулі.
- Сьома порівнює тестову групу, що реєструвалась під час впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з лівої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з лівої півкулі.
- Восьма порівнює тестову групу, що реєструвалась під час впливу стресу протягом першої хвилини записаних даних з правої півкулі з тестовою групою, що була виміряна під час впливу стресу під час третьої хвилини запису даних з правої півкулі.

Для усіх порівняльних груп під час розрахунку наявності статистично значимої різниці було враховано той факт, що усі тестові групи є залежними, оскільки відображують результати експериментів одних і тих самих людей. Відмінністю є або часовий проміжок у власне матеріалах експерименту, або час проведення самого експерименту.

З отриманих результатів видно, що середні значення тестових груп під час впливу стресових факторів значно збільшилися відносно значень отриманих до даного впливу. Окрім того, якщо до впливу стресових факторів спостерігалось зменшення значень на третій хвилині експерименту відносно першої, то після вказаного впливу значення практично не варіювалися. Для двох останніх порівняльних груп немає статистично значимої різниці.

Для наочності порівняння даних отриманих до та під час стресового фактору результати представленні у вигляді графіків (Рис. 4-Рис. 11).

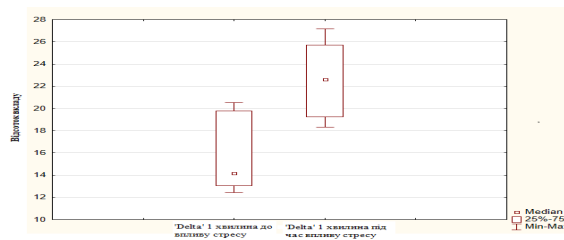


Рис. 4 Результати, отримані до та під час впливу стресу на 1 хвилині експерименту (ліва півкуля) – перша група

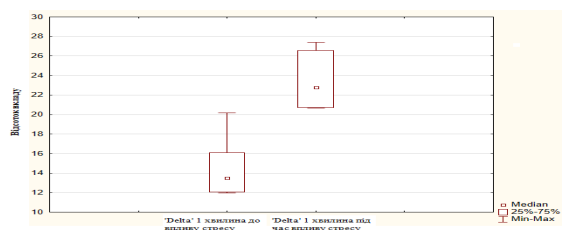


Рис. 5 Результати, отримані до та під час впливу стресу на 1 хвилині експерименту (права півкуля)

При аналізі Рис. 4 (порівняльна група 1, що має різницю між середніми значеннями для груп 7,11 відсоткових пунктів) та Рис. 5 (порівняльна група 2, що має різницю між середніми значеннями для груп 9,24 відсоткових пунктів) можна зробити висновок, що хоча результати учасників експерименту різняться між собою, спостерігається тенденція зростання рівня дельта-ритмів під час впливу стресових факторів, яка яскраво виражена для двох півкуль. Статистично значима різниця між тестовими групами присутня у обох порівняльних груп. Цей результат був отриманий до початку впливу музичного сигналу.

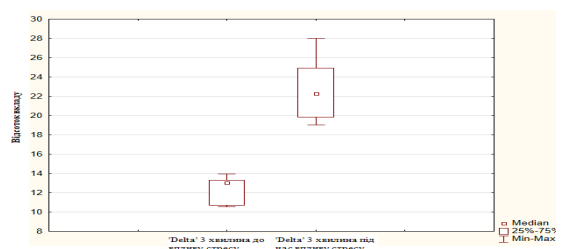


Рис. 6 Результати, отримані до та під час дії стресового фактору на 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

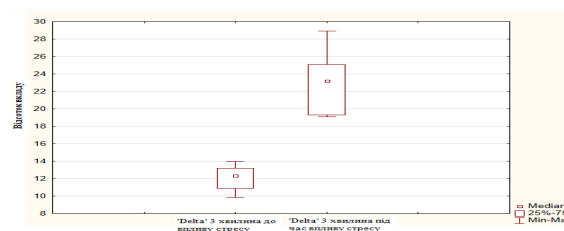


Рис. 7 Результати отримані до та під час дії стресового фактору на 3 хвилині експерименту (права півкуля)

Результати, зображені у вигляді графіків на Рис. 6 (порівняльна група 3, що має різницю між середніми значеннями для груп 10,4 відсоткових пунктів) і Рис. 7 (порівняльна група 4, що має різницю між середніми значеннями для груп 10,79 відсоткових пунктів) вказують на те, що напруженість під час дії стресового фактору значно зростає і це спостерігається для всіх отриманих експериментальних результатів і показують, що зростання рівня стресу відбувалось і після музичного впливу. Статистично значима різниця також була наявна для обох груп.

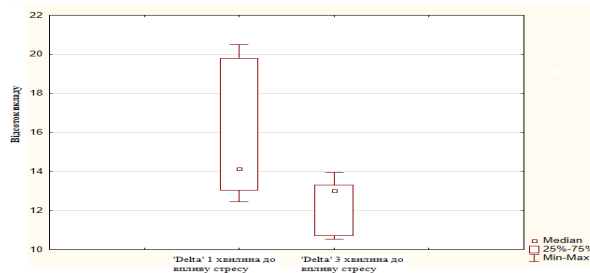


Рис. 8 Результати, отримані до дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

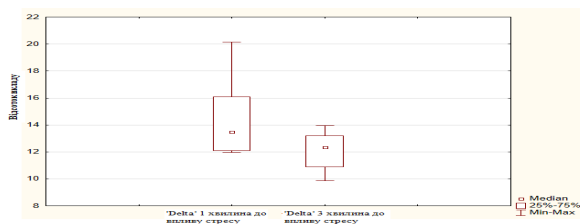


Рис. 9 Результати отримані до дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (права півкуля)

Аналіз експериментальних даних, представлених на Рис. 8 (порівняльна група 5, що має різницю між середніми значеннями для груп 2,97 відсоткових пунктів) та Рис. 9 (порівняльна група 6, що має різницю між середніми значеннями для груп 2,22 відсоткових пунктів) дозволяє зробити висновок, що на третій хвилині експерименту проведеного до впливу стресових факторів рівень напруженості знижується, що є результатом впливу низькочастотного акустичного сигналу, тобто спостерігається бажаний терапевтичний ефект. Статистично значима різниця спостерігається для двох порівняльних груп.

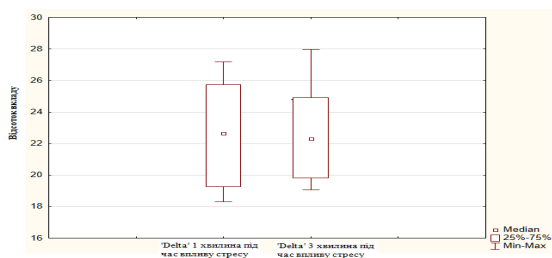


Рис. 10 Результати отримані під час дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

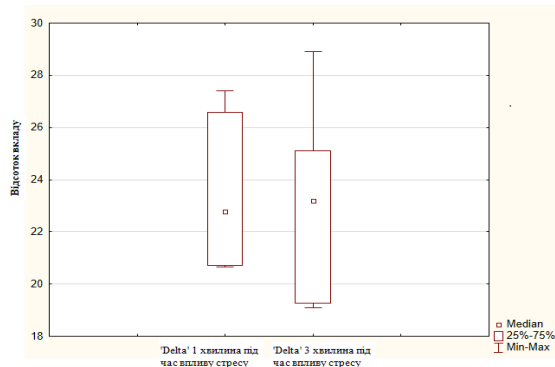


Рис. 11 Результати, отримані під час дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (права півкуля)

При аналізі результатів, наведених на Рис. 10 (порівняльна група 7, що має різницю між середніми значеннями для груп 0,32 відсоткових пункти) та Рис. 11 (порівняльна група 8, що має різницю між середніми значеннями для груп 0,66 відсоткових пунктів) стає зрозумілим, що під час впливу стресових факторів рівень стресу практично не змінився протягом експерименту і учасники перебували в стані постійного напруження, що нівелювало результати акустичного впливу.

## ВИСНОВКИ

При відсутності дії на учасників експерименту додаткових стресових факторів, в якості яких розглядалися значні навчальні навантаження під час здачі сесії, прослуховування низькочастотного музичного фрагменту викликає зниження рівня дельта-ритму в лівій і правій півкулях, порівняно з його значеннями на фонівій ЕЕГ, отриманій до початку акустичного впливу на рівні 2,97 відсотків для лівої півкулі, 2,22 відсотків для правої, статистичний аналіз показав наявність статистично значимої різниці між вихідними та результуючими даними.

Під час непрямого впливу розтягнутих у часі стресових факторів рівень дельта-ритму значно зростає як до, так і після прослуховування низькочастотного музичного фрагменту для обох півкуль, що говорить про зростання рівня напруженості, при чому збільшення становить 7-11 відсотків, статистичний аналіз показав наявність статистично значимої різниці між тестовими групами.

Оскільки збільшення відсоткового вкладу дельта-ритму в загальну картину біоелектричної активності головного мозку є аномальним для організму людини, що перебуває у бадьорому стані, наявність додаткових стресових факторів впливає на результати експериментів по дослідженню впливу музичного сигналу на психоемоційний стан людини, незалежно від характеру впливу та спектральних характеристик музичного сигналу, що виявилось у змінах дельта ритму у межах одного відсотку (було відмічене як збільшення, так і зменшення рівня відсоткового вкладу досліджуваного ритму).

Таким чином, зважаючи на характер впливу розтягнутого стресового впливу, зокрема стресу під час значних навчальних навантажень під час сесії, на характер енцефалограми та враховуючи його природу (виникає внаслідок довготривалої напруженої розумової роботи, котра спрямована на отримання чіткого результату і заважає звичайному ритму життя) в майбутньому слід виключити вплив даного фактору на досліджувану особу, оскільки він нівелює корисний вплив акустичного музичного сигналу.

## ВНЕСОК АВТОРІВ

Паренюк А. В. – оформлення роботи.

Паренюк Д. В. – обробка експериментальних даних; проведення розрахунків.

Дрозденко К. С. – вступ; огляд літературних джерел; постановка проблеми.

Найда С. А. – загальне керівництво.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] N. O. Savelieva-Kulyk, *Muzyczna Terapiia V Intehrativnii Medytyni Navch. Posib. Dlia Likariv-Sluchachiv Zakladiv (Fakulativ) Pisladyplomnoi Osvity [Music therapy in integrative medicine: textbook. way. for doctors-students of institutions (faculties) of postgraduate education]*. Kyiv: Interservic, 2014.
- [2] D. Kučikienė and R. Praninskienė, 'The impact of music on the bioelectrical oscillations of the brain.', *Acta medica Litua*, vol. 25, no. 2, pp. 101–106, 2018, DOI: [10.6001/actamedica.v25i2.3763](https://doi.org/10.6001/actamedica.v25i2.3763).
- [3] L. A. Kireeva, V. N. YAKovlev, and E. V. Dorohov, 'Vliyanie proslushivaniya muzyki Mocarta i rok-muzyki na umstvennyuyu rabotosposobnost' u studentov s razlichnymi tipami vysshej nervnoj deyatel'nosti [The influence of listening to music by Mozart and rock music on mental performance in students with different types of higher nervous activity], *Prikl. Inf. aspekty Med.*, vol. 18, no. 1, pp. 102–105, 2015, [Online]. Available: <https://new.vestnik-surgery.com/index.php/2070-9277/article/view/1750/1748>.
- [4] E. I. Leer and S. O. Zvereva, 'Osobennosti vliyaniya muzyki raznyh napravlenij na fiziologicheskie karakteristiki aktivnosti serdca yunoshej i devushek 14–16 let [Features of the influence of music of different directions on the physiological characteristics of the activity of the heart of young men and women 14–16 years], *Molodoj uchenyj*, no. 1, pp. 310–318, 2013, [Online]. Available: <https://moluch.ru/archive/48/6120/>.
- [5] M. G. Gallego and J. G. Garcia, 'Music therapy and Alzheimer's disease: Cognitive, psychological, and behavioural effects', *Neurologia*, vol. 32, no. 5, pp. 300–308, 2017, DOI: [10.1016/j.nrl.2015.12.003](https://doi.org/10.1016/j.nrl.2015.12.003).
- [6] C. Gold, M. Voracek, and T. Wigram, 'Effects of music therapy for children and adolescents with psychopathology: a meta-analysis', *J. Child Psychol. Psychiatry*, vol. 45, no. 6, pp. 1054–1063, 2004. PMID: [15257662](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15257662/) DOI: [10.1111/j.1469-7610.2004.t01-1-00298.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.t01-1-00298.x)
- [7] A. O. Cherninskyi, S. A. Kryzhanovskiy, and I. H. Zyma, *Elektrofizioloziia holovnoho mozku liudyny: metodychni rekomendatsii do praktykumu [Electrophysiology of the human brain: guidelines for the practical work]*. Kyiv: V. S. Martyniuk, 2011.
- [8] T. Harmony, 'The functional significance of delta oscillations in cognitive processing', *Front. Integr. Neurosci.*, vol. 7, p. 83, Dec. 2013, DOI: [10.3389/fnint.2013.00083](https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00083).
- [9] S. Jaime *et al.*, 'Delta Rhythm Orchestrates the Neural Activity Underlying the Resting State BOLD Signal via Phase-amplitude Coupling', *Cereb. Cortex*, vol. 29, no. 1, pp. 119–133, Jan. 2019, DOI: [10.1093/cercor/bhx310](https://doi.org/10.1093/cercor/bhx310).
- [10] R. N. S. Sachdev, N. Gaspard, J. L. Gerrard, L. J. Hirsch, D. D. Spencer, and H. P. Zaveri, 'Delta rhythm in wakefulness: evidence from intracranial recordings in human beings', *J. Neurophysiol.*, vol. 114, no. 2, pp. 1248–1254, Aug. 2015, DOI: [10.1152/jn.00249.2015](https://doi.org/10.1152/jn.00249.2015).
- [11] Y. V. Shcherbatyh, *Psihologiya stressa i metody korrektsii [Psychology of stress and methods of correction]*. SpB: Piter, 2006.
- [12] H. M. Dubchak, 'Osoblyvosti proiaviv stresovykh staniv suchasnykh studentiv zakladiv vyshchoi ta profesiinoi osvity [Features of manifestations of stressful conditions of modern students of higher and professional education Features of manifestations of stressful conditi]', *Psykholohiia osobystosti*, vol. 10, no. 1, pp. 74–80, 2019, DOI: [10.15330/ps.10.1.74-80](https://doi.org/10.15330/ps.10.1.74-80).
- [13] T. Kim, Y. Seo, J. Lee, S. Chae, and J. An, 'Brain to Music: Musical Representation from Stress-Induced EEG', in *2021 9th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, 2021, pp. 1–6, DOI: [10.1109/BCI51272.2021.9385354](https://doi.org/10.1109/BCI51272.2021.9385354).
- [14] V. M. Bohush, 'Osoblyvosti proiavu ekzamenatsiinoho stresu u studentiv DVNZ [Features of the manifestation of examination stress in students of higher educational institutions]', *Molodyi vchenyi*, vol. 9, no. 1, pp. 1–4, 2017, [Online]. Available: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2017/9.1/1.pdf>.
- [15] C. M. Bann *et al.*, 'Psychometric properties of stress and anxiety measures among nulliparous women', *J. Psychosom. Obstet. & Gynecol.*, vol. 38, no. 1, pp. 53–62, 2017, DOI: [10.1080/0167482X.2016.1252910](https://doi.org/10.1080/0167482X.2016.1252910).
- [16] S. M. U. Saeed, S. M. Anwar, H. Khalid, M. Majid, and A. U. Bagci, 'EEG based Classification of Long-term Stress Using Psychological Labeling.', *Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 7, Mar. 2020, DOI: [10.3390/s20071886](https://doi.org/10.3390/s20071886).
- [17] A. Arsalan, M. Majid, S. M. Anwar, and U. Bagci, 'Classification of Perceived Human Stress using Physiological Signals', in *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2019, pp. 1247–1250, DOI: [10.1109/EMBC.2019.8856377](https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8856377).
- [18] A. Asif, M. Majid, and S. M. Anwar, 'Human stress classification using EEG signals in response to music tracks.', *Comput. Biol. Med.*, vol. 107, pp. 182–196, Apr. 2019, DOI: [10.1016/j.compbiomed.2019.02.015](https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2019.02.015).
- [19] S. Chaudhuri, 'THE EFFECTS OF MUSIC ON STRESS', *Int. J. Adv. Res. INENGINEERING Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 524–538, 2021, DOI: [10.21474/IJAR01/12478](https://doi.org/10.21474/IJAR01/12478).
- [20] S. Paszkiel, P. Dobrakowski, and A. Lysiak, 'The Impact of Different Sounds on Stress Level in the Context of EEG, Cardiac Measures and Subjective Stress Level: A Pilot Study', *Brain Sci.*, vol. 10, p. 728, May 2020. PMID: [PMC7601981](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC7601981/) DOI: [10.3390/brainsci10100728](https://doi.org/10.3390/brainsci10100728)
- [21] M. Dadashi, B. Birashk, F. Taremiyan, A. A. Asgarnejad, and S. Momtazi, 'Effects of Increase in Amplitude of Occipital Alpha & Theta Brain Waves on Global Functioning Level of Patients with GAD.', *Basic Clin. Neurosci.*, vol. 6, no. 1, pp. 14–20, Jan. 2015. URL: <http://bcn.iuums.ac.ir/article-1-585-en.html>
- [22] A. P. Kulaichev, *Komp'yuternaya elektrofiziologiia i funktsional'naya diagnostika [Computer electrophysiology and functional diagnostics]*, 5th ed. Moskva: NIC INFRA-M, 2018.
- [23] I. V. Redka, 'Suchasni pidkhody do vyvialnennia i vydalennia artefaktiv z EEH-syhnaliv. Ohliad [Modern approaches to detecting and removing artifacts from EEG signals. Overview]', *J. Clin. Informatics Telemed.*, vol. 14, no. 15, pp. 13–34, 2019. URL: [http://kit-journal.com.ua/en/viewer\\_en.html?doc/2019\\_15/KIT\\_15\\_P.pdf](http://kit-journal.com.ua/en/viewer_en.html?doc/2019_15/KIT_15_P.pdf)
- [24] D. Liashko, 'Methods of music therapy and experimental study of bioelectrical activity of students' brains while listening to the musical composition of the audible frequency spectrum', *ScienceRise*, vol. 71, no. 6, pp. 74–80, 2020, DOI: [10.21303/2313-8416.2020.001561](https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001561).
- [25] A. N. Narkevich, K. A. Vinogradov, and A. M. Grzhibovskij, 'Mnozhestvennye sravnenija v biomeditsinskih issledovanijah: problema i sposoby reshenija [Multiple Comparisons in Biomedical Research: Problem and Solutions]', *Ekolohiia cheloveka*, no. 10, pp. 55–64, 2020, DOI: [10.33396/1728-0869-2020-10-55-64](https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-10-55-64).





- [26] D. Pareniuk, 'Method of evaluation of the minimal sample size for acoustical signal therapy monitored via electroencephalographic activity of human brain', *ScienceRise*, no. 2, pp. 75–82, 2021, DOI: [10.21303/2313-8416.2021.001736](https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001736).
- [27] F. Wilcoxon, 'Individual comparisons by ranking methods', *Biometrics*, no. 1, pp. 80–83, 1945. DOI: [10.2307/3001968](https://doi.org/10.2307/3001968)
- [28] M. J. de Smith, *Statistical Analysis Handbook*, 3rd ed. London: Winchelsea press, 2018. ISBN: 978-1912556069

Надійшла до редакції 21 березня 2021 року

UDC 612.821.88

# Study of the Combined Effect of Stress Factor and Musical Signal on the Psychophysical State of Human

A. V. Pareniuk<sup>f</sup>, ORCID [0000-0002-8882-5976](https://orcid.org/0000-0002-8882-5976)

D. V. Pareniuk, ORCID [0000-0002-0734-3183](https://orcid.org/0000-0002-0734-3183)

K. S. Drozdenko, PhD, ORCID [0000-0002-7653-600X](https://orcid.org/0000-0002-7653-600X)

S. A. Naida<sup>s</sup>, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0002-5060-2929](https://orcid.org/0000-0002-5060-2929)

Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, Faculty of Electronics

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)

Kyiv, Ukraine

**Abstract**—Today the actual direction in psychoacoustics is the use of acoustic influences in order to correct the physiological, functional or psychological state of man. Various audio stimuli are used to achieve this goal, such as regulating heart rate, increasing the productivity of human work, improving mood and relieving depression.

To study the effectiveness of music therapy with the help of modern electroencephalographic complexes, an electroencephalogram (EEG) is recorded and analyzed. Changes in the state of the brain can be assessed by changes in the frequency components (rhythms) of the EEG.

Delta rhythm is registered during deep sleep, hyperventilation or anesthesia. The dominance of delta activity in adolescents and adults in the state of wakefulness is a sign of pathology. There is information that fluctuations in this rhythm can be identified in the EEG signal at rest under some forms of stress. The aim of this work is to analyze the ratio of the contribution of delta waves of the brain in its total activity in percentage when listening to low-frequency acoustic signals before and during the action of stressors.

The experiments were conducted on 5 people, of whom 2 were men and 3 – women, all of them aged 18-22 years. A total of 14 experiments were conducted — 7 in male and female groups. Electroencephalogram (EEG) registration took place in 16 leads. The composition "Demon Wings" by Bohren & der Club of Gore was used as a musical impact factor. Research was conducted in time periods before and during the increased study load, which is actually considered as a factor that causes an increase in psycho-emotional stress.

The results obtained in the periods before and during the influence of the stress factor are presented via the following data: mean values of the comparative levels, differences in mean values and the probability of error of the delta rhythms in the two hemispheres of the brain in periods during the first and third minutes of the experiment. The probability of error of the assumption was determined via using Student's t-criterion.

Obtained results show that the average values of the test groups under the influence of stress factor increased significantly relative to the values obtained before this influence. In addition, if before the influence of stress factors there was a decrease in values in the third minute of the experiment relative to the first, then after this effect, the values did not vary. There is no statistically significant difference for the last two compared groups. The data presented in the paper indicate that the level of delta rhythm increases significantly during the indirect influence of time-stretched stressors, despite the presence of another type of influence — acoustic, caused by a low-frequency music signal.

This rhythm is abnormal for the human body, which is in good spirits. That is why the presence of a high level of this rhythm can affect the accuracy of experiments that investigate the effect of a musical signal on the psycho-emotional state of a person, regardless of the nature of the impact and spectral characteristics of the musical signal.

**Keywords** — delta rhythm; electroencephalogram; acoustic music signal; stress.

