

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему " ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АУДІОСИГНАЛІВ НА
ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ
СИСТЕМИ""**

Спеціальність: 163 - "Біомедична інженерія"

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Никифорова Л.Є.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Шворов С.А.
(П.І.Б.)

Виконав

_____ (підпис)

Кулак І.А.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

к.т.н., доц. О.О. Опришко

(підпис)

(ПІБ)

" _____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студентці

Кулака Ігоря Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 163 - "Біомедична інженерія"

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: "Програмно-апаратний комплекс для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан центральної нервової системи",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "12" 11 2024 р. № 2023 "С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "31" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню біомедичних систем

3.3. Наукова література з тематики бакалаврської кваліфікаційної роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Аналіз стану медичної проблеми спостереження за станом ЦНС

4.2. Дослідження стану центральної нервової системи як біологічного об'єкту

4.3. Огляд відомих математичних моделей і методів з впливу аудіосигналу на ЦНС

4.4. Вибір технічних засобів для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан центральної нервової системи

4.5. Програмні засоби для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан центральної нервової системи.

4.5. Схеми біомедичної системи (структурна, функціональна, принципова електрична).

4.6. Кошторисні розрахунки.

4.7. Техніка безпеки і охорона праці.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Структурна і функціональна схеми системи дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан центральної нервової системи.

5.2. Схема електрична принципова системи дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан центральної нервової системи

5.3. Алгоритм візуалізації динаміки змін серцевого ритму .

Дата видачі завдання "19" грудня 2024 року

**Керівник
бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Шворов С.А. (П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Кулак І.А.
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота за темою «Програмно-апаратний комплекс для дослідження впливу аудіосигналів на функціональний стан центральної нервової системи» виконана студентом ННІ енергетики, автоматики та енергозбереження *Кулаком Ігорем Андрійовичем* зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія» та складається зі: вступу; 3 розділів (медико-технічне обґрунтування проекту; структурна схема системи; розробка алгоритмічного, програмного та технічного забезпечення), загальних висновків; списку використаних джерел (20) та 2 додатків. Кількість таблиць – 10, ілюстрація - 24. Загальний обсяг роботи 95 сторінок. Функціональний стан центральної нервової системи (ЦНС) є важливим показником працездатності людини, і на нього суттєво впливають звукові подразники. Впродовж роботи було визначено першу і другу парціальну частоту середнього вуха та проведено спектральний аналіз сигналів викликаних ото акустичною емісією, досліджено сукупний вплив стресового фактору та музичного сигналу на психофізичний стан людини. Отримані результати варто приймати до уваги під час підбору музичних композицій для експериментів.

З метою оцінки впливу звукових стимулів на функціональний стан ЦНС під час роботи були використані електроенцефалографічний комп'ютерний комплекс BRAINTEST-16 (ТОВ НВП "DX-системи", Україна, м. Харків), професійний мікрофон Audio-Technica ATR35s ємнісного типу, трьох частотний тимпанометр, програмний продукт BrainTest електроенцефалографічного комп'ютерного комплексу BRAINTEST-16, прикладні програми Microsoft Excel 2016 та Statistica, прикладні пакети Matlab та SoundForge. У якості музичного впливу була використана композиція Demon Wings гурту Bohren & der Club of Gore. Для ефективно фільтрації аудіосигналів у заданих частотних діапазонах використовувалося програмне середовище MATLAB 2018. Крім того, на мові програмування C# було розроблено програмне забезпечення, що дозволяє збирати дані психомоторних показників, які характеризують функціональний стан ЦНС, та відстежувати їх динаміку.

Ключові слова: аудіосигнали, музична терапія, отоакустична емісія, спектральний аналіз, програмно-апаратний комплекс, функціональний стан ЦНС, звуковий стимул, діапазон частот, MATLAB, C#, формат wav, маніпулятор миша, інтерфейс.

ABSTRACT

Thesis work on the topic “Software and hardware complex for monitoring the flow of audio signals to the functional state of the central nervous system” by a student of the National Research Institute of Energy, Automation and Energy Saving *Igor Kulak* zi specialty 163 “*Biomedical Engineering*” is formed by: entry; 3 sections (medical and technical support for the project; structural diagram of the system; development of algorithmic, software and technical support), external components; list of victorious devices (20) and 2 additional ones. The number of tables is 10, the illustration is 24. The official duty of the work is 95 pages.

The functional state of the central nervous system (CNS) is an important indicator of a person’s performance, and sound patterns are closely related to it. In further work, the first and second partial frequency of the middle ear was determined and a spectral analysis of the call signals from the acoustic emitter was carried out, and the cumulative influx of the stress factor and the musical signal on the psychophysical state of a person was observed. By assessing the influx of sound stimuli into the functional state of the central nervous system, an electroencephalographic computer complex BRAINTEST-16 (TOV NVP "DX-Systems", Ukraine, Kharkov), a professional microphone was used. Audio-Technica ATR35s amnestic type, three-frequency tympanometer, BrainTest software product for the BRAINTEST-16 electroencephalographic computer complex, Microsoft Excel 2016 and Statistica application programs, Matlab and SoundForge application packages. Among the musical infusions was the composition Demon Wings by Bohren & der Club of Gore. For effective filtering of audio signals in specified frequency ranges, the MATLAB 2018 middleware program was used. In addition, a software program was developed in C#, which allows you to select data on psychomotor indicators that characterize the functional state of the central nervous system and determine their dynamics.

Keywords: *audio signals, music therapy, otoacoustic emics, spectral analysis, software and hardware complex, functional system of the central nervous system, sound stimulus, frequency range, MATLAB, C#, wav format, mouse manipulator, interface.*

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. МЕДИКО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АУДІОСИГНАЛІВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНОЙ СТАН ЦНС	10
1.1. Огляд методик для нейрофізіологічної корекції психологічних та фізіологічних станів	10
1.2. Музична терапія	17
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ	25
2.1 Основи електроенцефалографії	25
2.2 Огляд сучасних електроенцефалографів	28
2.3 Ритми головного мозку	36
2.4 Обробка електроенцефалограми	39
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПІД ЧАС МУЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ	48
3.1. Огляд музичних жанрів, що використовуються в музичній терапії	49
3.2. Спектральний аналіз аудіо сигналів	49
3.3. Програмне забезпечення для проведення спектрального аналізу аудіо-сигналів	51
3.4. Спектрограми музичних творів різних жанрів	52
3.5. Вплив творів різних музичних жанрів на електричну активність головного мозку	58
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	65
4.1. Постановка експерименту	65
4.2. Дослідження сигналів БОАЕ	68

4.3. Дослідження спектральних характеристик звуків «а» і «у» за допомогою прикладного пакету SoundForge	72
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ СУКУПНОГО ВПЛИВУ СТРЕСОВОГО ФАКТОРУ ТА МУЗИЧНОГО СИГНАЛУ НА ПСИХОФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ	78
5.1. Постановка проблеми	81
5.2. Результати	87
5.3. Структура програмно-апаратного комплексу	95
ВИСНОВКИ	98
Список використаних джерел	99

ВСТУП

Центральна нервова система (ЦНС) — це дивовижно складна мережа, що складається з головного та спинного мозку, яка є головним центром управління всіма фізіологічними процесами, емоціями, мисленням та поведінкою людини. Її функціонування базується на безперервній взаємодії мільярдів нейронів, що передають сигнали за допомогою електричних імпульсів та хімічних речовин — нейромедіаторів. Саме ці складні процеси забезпечують нашу здатність до сприйняття інформації, її обробки, прийняття рішень та виконання цілеспрямованих дій. Головний мозок є верховним командувачем: його кора відповідає за вищі психічні функції, такі як свідомість, пам'ять, мова, мислення, навчання та вольові акти. Підкіркові структури, такі як таламус, гіпоталамус, базальні ганглії та лімбічна система, регулюють емоції, мотивацію, сон, голод, спрагу, температуру тіла та беруть участь у координації рухів. Мозочок відіграє ключову роль у підтримці рівноваги, координації рухів та м'язового тону. Спинний мозок є своєрідним "мостиком" між головним мозком та периферійною нервовою системою. Він забезпечує передачу сенсорної інформації до головного мозку та рухових команд від нього до м'язів та залоз. Крім того, спинний мозок відповідає за виконання багатьох безумовних рефлексів, що дозволяють нам швидко реагувати на небезпечні стимули без участі свідомості.

Працездатність людини, тобто її здатність до ефективного виконання розумових та фізичних завдань, безпосередньо залежить від стану та злагодженого функціонування ЦНС. По-перше, ЦНС забезпечує всі когнітивні процеси, необхідні для роботи: увагу, концентрацію, пам'ять (короткострокову та довгострокову), здатність до аналізу, синтезу та вирішення проблем. Ефективність цих процесів визначає якість виконання розумової роботи. По-друге, для фізичної працездатності ЦНС координує складні рухові акти, забезпечуючи точність, силу та витривалість м'язів. Вона відповідає за програмування рухів, їхнє виконання та корекцію в реальному часі. По-третє,

ЦНС регулює наш емоційний стан, мотивацію та волюві якості, які є вирішальними для підтримання високої працездатності, подолання труднощів та стресу. Втома, стрес або порушення емоційної рівноваги можуть суттєво знижувати працездатність. По-четверте, завдяки пластичності ЦНС людина може адаптуватися до змінних умов праці, вчитися новим навичкам та підвищувати свою ефективність. Механізми нейропластичності дозволяють мозку змінювати свою структуру та функції у відповідь на досвід. Нарешті, надмірне навантаження або тривалий стрес призводять до виснаження ресурсів ЦНС, що проявляється у зниженні концентрації уваги, погіршенні пам'яті, уповільненні реакцій, дратівливості та фізичній втомі. Здатність ЦНС до відновлення після навантажень є критично важливою для підтримання стійкої працездатності. Таким чином, ЦНС є центральною ланкою, що інтегрує всі аспекти функціонування організму, і її фізіологічні основи безпосередньо визначають нашу здатність до продуктивної розумової та фізичної праці. Підтримка оптимального стану ЦНС через збалансоване харчування, достатній сон, фізичну активність та управління стресом є запорукою високої та стійкої працездатності людини.

РОЗДІЛ 1

МЕДИКО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АУДИОСИГНАЛІВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНОЙ СТАН ЦНС

3.6. Огляд методик для нейрофізіологічної корекції психологічних та фізіологічних станів

3.6.1. Адаптивне біокерування зі зворотнім зв'язком по електроенцефалограмі (Neurofeedback)

На сьогоднішній день в медицині активно розвиваються нові неінвазивні методи і способи лікування людини, а також вивчаються способи впливу на людський організм з метою корекції психологічних та фізіологічних станів. Одним з таких видів лікування, являється психофізіологічний метод зі зворотнім зв'язком (Neurofeedback) – адаптивне біокерування.

Біологічний зворотний зв'язок – поняття, яке використовується для позначення усвідомленого управління внутрішніми органами і системами: активністю м'язів, його вісцеральними і вегетативними функціями і іншими проявами життєдіяльності організму.

Ідеї, пов'язані з саморегулюванням фізіологічних процесів, що відбуваються в організмі людини і тварин, сформувалися ще в другій половині XIX століття. Французький лікар К. Бернард, ще у 1866 році сформулював положення, про саморегуляцію фізіологічних функцій (гомеостаз), як один з основних адаптивних проявів фізіологічних систем організму. Ці положення навіть на сьогоднішній день не втратили своєї актуальності. Приблизно в цей же період, з'явилися уявлення про принципи рефлекторної саморегуляції дихання і рефлекторної саморегуляції кровообігу.

Якщо в кінці XIX століття, ідеї рефлекторної саморегуляції стосувалися, головним чином, регуляції функцій організму за допомогою

нервової системи, то на початку ХХ століття, у медиків виникло питання про саморегуляцію самої нервової системи.

Головні принципи зворотного зв'язку, були виявлені фізіологом П.К. Анохіним ще в 1930-х рр. На даний момент, не існує єдиної теорії біологічного зворотного зв'язку, яка була б одноставно прийнята всіма дослідниками. Існує кілька концепцій біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ):

Класична концепція передбачає, що інформація про стан фізіологічної системи, на зміну якій спрямований тренінг з біологічного зворотного зв'язку, стає доступною для сприйняття пацієнтом, що отримує можливість контролювати фізіологічні системи. Передбачається, що загострення сприйняття самих симптомів і попередніх їм відчуттів дозволяє сформуванню стратегію поведінки, придатну для усунення симптому. Відповідно до цієї теоретичної моделі, сигнали зворотного зв'язку для пацієнта допомагають сформувати, запам'ятати і використовувати нову навичку, що допоможе у подальшому лікуванні.

Когнітивна модель передбачає, що думки пацієнта, його уявлення, мотивації, терапевтичні очікування, що виникають в процесі тренінгу БЗЗ, призводять до регресії симптому.

Концепція ініціативи передбачається, що пацієнт спочатку здатний сам оптимізувати свої фізіологічні функції і без тренінгу з біологічного зворотного зв'язку, але не знає, як це зробити. У цьому випадку сигнали зворотного зв'язку є підкріплювальним і потенціальним чинником, що сприяє ініціації і навчання пацієнта [1].

Суть БЗЗ – методу (рис. 1.1) полягає в «поверненні» пацієнтові на екран комп'ютерного монітора або в аудіо-формі поточних значень його фізіологічних показників, що визначаються клінічним протоколом. (Протокол – сукупність умов, що регламентує проведення БЗЗ - процедури). У цьому сенсі всі БЗЗ-протоколи поділяються на дві великі групи - по-перше, цей напрямок, що позначається в англійській літературі поняттям «Neurofeedback», в рамках

якого здійснюється модифікація різних параметрів електроенцефалограми головного мозку (амплітуди, потужності, когерентності і т.д.), і інший напрямок, що позначається поняттям «Biofeedback», в рамках якого піддаються зміни показників вегетативної системи активації (провідність шкіри, кардіограма, частота серцевих скорочень, дихання, електроміограма, температура та ін).



Риунок 1.1. Біологічно зворотній зв'язок

Складний ритмічний візерунок біоелектричної активності головного мозку (електроенцефалограма) являє собою результат взаємодії його численних регуляторних систем. Маючи можливість модифікувати характер ритмічної активності головного мозку, ми тим самим отримуємо доступ до важелів, від яких залежить функціонування його регуляторних систем. Зараз у декілька спрощеній формі, розглянемо особливості основних ритмів ЕЕГ, а саме альфа-, бета-, тета- і дельта-ритми.[2]

- *Дельта-ритми* (0,5 - 4 Гц) пов'язані з відновними процесами, особливо під час сну, і низьким рівнем активації. При багатьох неврологічних та інших порушеннях дельта-хвилі помітно посилені.

- *Посилений тета-ритм* (4-8 Гц) часто спостерігається при психічних

порушеннях, станах сплутаність свідомості, струси мозку. У той же час, в нормі тета-хвилі пов'язані зі зміненими станами свідомості, а також емоційним реагуванням.

- *Альфа-ритм* (8-12 Гц) відповідає «холостому ходу мозкової машини» і пов'язаний з розслабленим станом неспанья. Переживання страху, гніву, тривоги викликають депресію альфа-ритму.

- *Бета-ритм* (14-20 Гц) в нормі пов'язаний з вищими когнітивними процесами і фокусуванням уваги. [2]

Види БЗЗ – терапії. БЗЗ-альфа-тренінг / терапія. Вивчення властивостей альфа-ритму ЕЕГ, а потім використання можливостей альфа- станів були відправною точкою в розвитку методології біологічного зворотного зв'язку. Після розробки методу і його перевірки, констатовано зниження ступеня особистісної тривожності в дослідженнях проблеми підвищення ефективності діяльності в умовах сильного стресу. На сьогоднішній день, альфа-протокол використовується для терапії депресивних психосоматичних, невротичних та інших порушень, які виникають в головному мозку. [2]

БЗЗ-тета-тренінг / терапія. Тета-стан виникає при посиленні тета- ритму, цей стан характеризується підвищенням творчих здібностей. Наприклад, БЗЗ-терапію за схемою альфа / тета-протоколу дуже часто застосовуються при лікуванні алкогольної і наркотичної залежності. Було проведено дослідження схеми альфа / тета-протоколу групи хронічних алкоголіків, через 3 роки спостереження позитивний результат склав 80%, тоді як результат інших видів терапії (психотерапія, аутотренінг та ін.) у таких же групах хворих виявився недостовірним [3].

БЗЗ-бета-терапія. Проводились дослідження, де відбувалося посилення бета-ритму ЕЕГ, було відмічено позитивний ефект при різних неврологічних порушеннях. [2] В дослідженні що проводилося, відбувалося посилення бета-ритму і одночасне послаблення тета-ритму, це показало ефективність при різних синдромах порушення уваги, епілептичних синдромах, посттравматичних, тощо.

(рис. 1.2).



Рисунок 1.2. Приклад використання біоуправління в лікуванні посттравматичного синдрому

БЗЗ-SMR-терапія. Проводилась велика кількість досліджень, щоб перевірити ефективність і розробити терапію проти судомних нападів. Робота М.В. Стермана датована 1980-м роком показала, що шляхом БЗЗ-посилення сенсомоторного ритму (SMR) ЕЕГ тварин і людини, можна підвищити поріг судомної готовності і тим самим зменшити частоту, і прояви судомних нападів при різних епілептичних синдромах, аж до їх повного припинення. За результатами середньостатистичних оцінок, приблизно в 50% випадків у результаті БЗЗ-терапії (30-50 сеансів) вдається скасувати протисудомну фармакотерапію без рецидивів судомних нападів. Всі вище зазначені терапії використовуються для клінічного лікування, вході якого застосовується електроенцефалограф (ЕЕГ). [2]

БЗЗ-VNS-терапія. Стимуляція блукаючого нерва (рис. 1.3) – це додатковий метод лікування епілепсії, він застосовується в поєднанні з традиційною медикаментозною терапією. Це відносно молодий метод лікування, що вже продемонстрував свою ефективність.

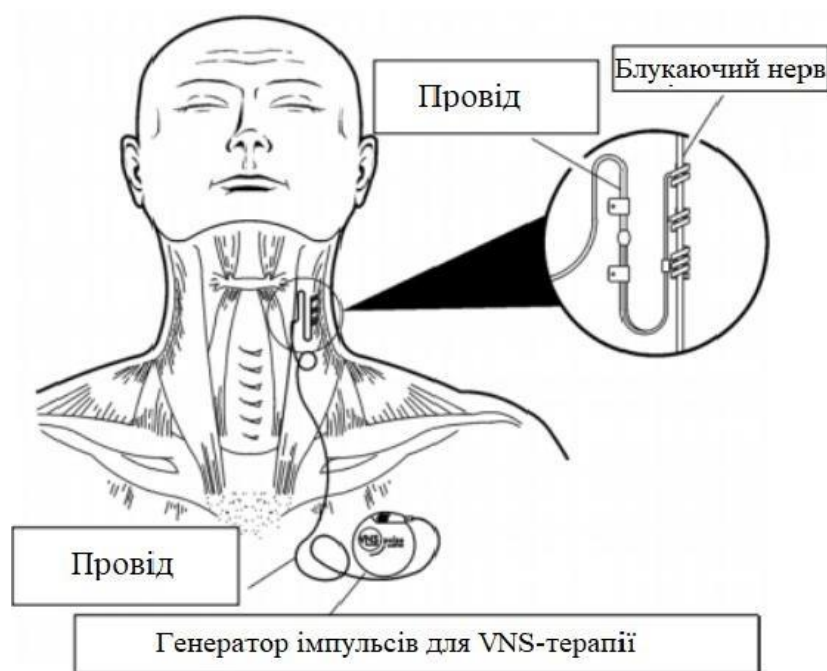


Рисунок 1.3. Приклад стимуляції блукаючого нерва за допомогою VNS-терапії

Суть самого методу полягає в тому, що хірург імплантує під шкіру пацієнта в області ключиці мініатюрне електронний пристрій, за своїм принципом схоже на кардіостимулятор, який генерує електричні імпульси. Імпульси по електродам посиляють постійні стимули в головний мозок. Після того, як пристрій встановлено, відбувається програмування самого стимулятора, це необхідно для створення імпульсів певної частоти, що взаємодіє з людиною. Пристрій має можливість для гнучких налаштувань. Крім того, пацієнту дається спеціальний магніт, який у разі раптового виникнення епілептичного нападу необхідно піднести близько до кардіостимулятора, це запускає процес генерації імпульсів, що важливо для зупинки або зниження інтенсивності нападу.

Переваги застосування адаптивного біокерування.

Даний метод нейрофізіологічної корекції невпинно розвивається. Першим важливим фактором для отримання кращих результатів лікування стала поява нових комп'ютерних технологій, що дозволяють реєструвати, обробляти і математично аналізувати фізіологічний сигнал в реальному часі.

По-друге, це обережність, щодо застосування фармакологічних препаратів (ліків) не тільки серед пацієнтів, але і медичних працівників. У випадках, коли симптоми не піддаються фармакологічному контролю або побічні дії застосовуваних ліків неприйнятні, тоді такі неінвазивні, немедикаментозні методи, як є БЗЗ-терапія, стають просто незамінними. По-третє, це високі ціни на продукцію фармацевтичних фірм і відносно невисока ефективність застосування цих ліків при лікуванні раку, дегенеративних розладів, алергій та великої групи захворювань, пов'язаних з хронічним стресом. [2]

Вироблення з допомогою БЗЗ-терапії таких навичок, як підвищення температури рук, релаксація певних груп м'язів, дозволяють ефективно боротися з регулярними головними болями, напругою, мігренню, знижувати підвищений артеріальний тиск.

Ще однією важливою сферою застосування БЗЗ-терапії є реабілітація рухових порушень після перенесених інсультів, ушкоджень і захворювань периферичних нервів, перенесених операцій та ін. Вже достовірно відомо, що відбувається вплив ЕЕГ-БЗЗ-терапії на аутогенних реакцій, до яких відносять такі порушення, як ревматоїдний артрит, різні алергії, розсіяний склероз та ін.

БЗЗ-терапія підтримує рівновагу між двома півкулями головного мозку, а також між нервової та імунної системами. Неінвазивність, нетоксичність, надійність і ефективність, роблять метод адаптивного біокерування одними з найбільш перспективних при лікуванні багатьох хронічних захворювань в області неврології, кардіології, урології, гастроентерології, геріатрії, педіатрії, а також в відновлювальній та превентивної медицини.[2]

1.2. Музична терапія

Музика – це вид мистецтва, в якому художні образи втілюються для їх слухового сприйняття за допомогою таких засобів виразності як висота тону, темп, ритм, тембр, динаміка і способи їх взаємної організації.

Музикотерапія – це вид лікування, який використовує музику як інструмент в рамках терапевтичної взаємодії, метою якої є задоволення фізичних, емоційних, когнітивних і соціальних потреб людини. Іноді музикотерапія розглядається як частина музичної освіти, як розвага або просто приємний бонус, якими вона може бути – в залежності від індивідуальних потреб. Основні завдання музикотерапії – встановлення контакту і сенсорна регуляція. В процесі лікування музичний вплив викликає різноманітні емоції, дозволяючи людині пережити сильні почуття на особистому досвіді.

Вплив музики і звуку на людину – це вже відомий факт. Музика доставляє нам радість, сповільнює пульс, сприяє розширенню судин і нормалізації кров'яного тиску. Мелодії різні і тому по різному впливають на людину. Одні налаштовують на перемогу, піднімають настрій, інші вводять в стан трансу або викликають тривогу. На сьогодні широко розповсюджені комерційні та безкоштовні інтернет-ресурси, де можна завантажити чи придбати музику для медитації, відновлення, здоров'я, музикотерапії.

Особливості звуку і його взаємодія з людиною. Відомо, що звук являє собою механічні коливання і хвилі. Об'єктивними характеристиками які використовують для коливального процесу є частота та амплітуда (сила, або гучність звучання). Частота вказує на висотність звуку в його слуховому діапазоні.

В цілому звуки поділяють на шуми, звукові удари і тони. Наведемо для них короткі пояснення:

- ✓ шуми - звукові коливання не пов'язані за частотою та силою;
- ✓ звукові удари – короткочасні звукові впливи (клацання, удар);

- ✓ тони (музичні звуки) – впорядковані, пов’язані за частотою та силою звукові хвилі.[4]

Людина сприймає на слух звуки в діапазоні частот від 16 Гц до 20 кГц. Зона, яка знаходиться між порогоми чутності і больового відчуття, називається областю слухового сприйняття. (рис. 1.4).



Рисунок 1.4. Слухове сприйняття людини

До основних властивостей слуху можна віднести здатність розрізняти частоту і інтенсивність звуків, аналізувати складні звуки і оцінювати їх властивості, визначати положення джерела звуку в просторі, виділяти один з звукових сигналів на тлі інших. Суб'єктивне сприйняття звуку який чує людина характеризується висотою, гучністю і тембром. В звичайне людське вухо є найбільш чутливе до частот 2500-3000 Гц. Акустичний сигнал впливає на клітини живого організму, змінюючи їх активність. Звукові хвилі з частотами нижче 16 Гц називаються інфразвуком, а з частотами вище 20 кГц – ультразвуком. [4]

Інфразвук може мати як природні характер (землетрус, гроза, море та ін.), так і штучний (машини, вибухи тощо). Беручи до уваги явище резонансу, інфразвук негативно впливає на організм людини, він викликає такі симптоми як: головний біль, втому, відчуття страху, підвищену дратівливість, тощо.

Доведено, що людина має власну частоту коливань,

наприклад у тіла людини, що перебуває в положенні лежачи становить 3-4 Гц, стоячи – 5-12 Гц, грудної клітки – 5-8 Гц, черевної порожнини – 3-4 Гц і т.д. Можна зробити висновок, що інфразвук має близькі значення до частот власних коливань окремих систем організму і тіла людини, тому саме діапазон частот інфразвуку є по відношенню до організму людини змушуючою силою. Всі ці нюанси використовуються в музикотерапії.

Ультразвуком називають коливання та хвилі, частота яких перевищує 20 кГц. Ультразвук, як і інфразвук не сприймаються людським вухом. Найбільш вивчено біологічну дію ультразвуку при контактному його впливі. Встановлено, що ультразвукові коливання, глибоко проникаючи в організм, можуть викликати серйозні локальні порушення в тканинах: запальну реакцію, крововиливи, а при високій інтенсивності – некроз. Ультразвук широко використовується в медицині з діагностичною і лікувальною метою.

Методи музикальної терапії (МТ).

Як висловлювався німецький психотерапевт і музикальний терапевт Г.-Г. Декер-Фойгт «в світі існує стільки музичних терапій, скільки і музичних терапевтів». Тому немає конкретного методу яким можна буде лікувати всіх пацієнтів без винятків. Метод лікування має бути обґрунтованим, тому музикальна терапія має свої покази до призначення. Проведемо перелік показів для МТ:

- ✓ відхилення в розвитку;
- ✓ емоційна нестабільність;
- ✓ поведінкові порушення;
- ✓ сенсорний дефіцит;
- ✓ спинномозкові травми;
- ✓ психосоматичні захворювання;
- ✓ внутрішні хвороби;
- ✓ психічні відхилення;

- ✓ афазія;
- ✓ аутизм. [4]

Метод музикальної терапії поділяють на активні, рецептивні та інтеграційні, ті в свою чергу розрізняються на індивідуальні та групові форми.

Активні методи в своїй суті полягають на активну участь самого пацієнта. Приклади методик: ігрова вокалотерапія, вокалотерапія, онтопсихологічна методика, аналітична музикотерапія, холотропна терапія та інші.

Вокалотерапія – цей метод полягає у використанні вокалу, як впливу на організм, а саме активація певних реакцій організму.

Ігрова вокалотерапія – цей метод який ґрунтується на тому, що пацієнт приймає активну участь у процесі співу, де йому відведена певна роль. Активно застосовується для корекції мовлення у дітей та пацієнтів з порушення мови.

Онтопсихологічна методика – суть полягає в тому що терапевт, використовує звучання ударних інструментів, які відносяться до засобів музичної виразності, в ході цього в учасників групи виникає тілесне відчуття радості. Це позитивно діє на організм людини. Використовується для підвищення творчого потенціалу людини.

Аналітична музикотерапія – основна концепція полягає у звуковому самовираженні людини під час гри на інструментах чи співі. Найбільш часто його використовують при функціональних порушеннях або неврозах.

Холотропна терапія – це метод який був розроблений С. Грофом. Холотропна терапія в собі поєднує гіпервентиляцію на фоні спеціально відібраної музики. Головна мета цього методу лікування є індукція неординарних станів свідомості, для поліпшення самопочуття пацієнта [4].

До другого типу музикальної терапії відносяться рецептивні методи. Рецептивна музикотерапія на сьогодні є найстарішою формою музикотерапії. Раніше її називали пасивною, проте з часом дійшли висновку що сприйняття звуку є активним процесом. Відмінність рецептивної від активної форми музикотерапії, полягає в тому що пацієнт пасивно сприймає музику і жодним

чином не впливає на музичний образ, на відміну від активної. До них відносять: музикопсихотерапію, музикофармакотерапію, музикорефлексотерапію, узикобальнеотерапію, нейромузичне програмування.

Музикопсихотерапія – основна риса полягає у нормалізації психоемоційного стану пацієнта. Найбільш дієвий даний метод у використанні рецептивної психотерапії, а саме створення такого стану як «сон наяву». Це призводить до зміни стану свідомості пацієнта.

Музикофармакотерапія – в ході лікування фармакологією застосовують музику для покращення настрою пацієнта.

Музикорефлексотерапія – це проведення акустичного впливу на точки акупунктури, що позитивно впливає психофізіологічний стан організму.

Музикобальнеотерапія – це комплексна методика, яка поєднує у собі водолікування разом із музикою.

Нейромузичне програмування – це технологія моделювання настрою особистості та психокорекції, де використовуються спеціальні музично-акустичні формули. Оскільки головний мозок працює в хаотичному режимі, як і багато інших систем організму, шукаються методи управління організмом людини, в тому числі за допомогою звуків [4].

На сьогодні в лікувальній практиці найчастіше використовується рецептивна музикотерапія, яка більше орієнтована на комунікативні завдання. Пацієнти прослуховують особливо підібрані музичні твори, а потім разом із психотерапевтом чи іншим пацієнтом (групове заняття) обговорюють власні думки, асоціації, спогади, в ході прослуховування. Зазвичай це на одному занятті прослуховують, як правило, 3 твори або уривки, кожен по 10 –15 хвилин. Програма за якою будуть прослуховуватися музичні твори, будуються на основі зміни настрою, динамікою і темпом емоційного навантаження.

Інтеграційна музикотерапія полягає в тому що разом з музикою включає інші види мистецтв: малювання під музику, створення віршів, малюнків, написання твору після прослуховування музики та різні творчі форми. Музично-

терапевтичні методи, як правило підбираються індивідуально.

Перспективи і ефективність музикотерапії. В сучасному світі музична терапія досить широко використовується в якості терапевтичного методу. Головні напрямки дослідження - вплив музичних інструментів на живі організми; вплив індивідуальних творів композиторів; впливи на людину традиційної народної музики і сучасних напрямків, вивчення впливу музики великих композиторів.

Варто пам'ятати, що музика може бути як ліками, так і отрутою. Наприклад, комбінація певних ритмів і високої гучності звучання знижує поріг чутливості. В ході цього в організмі людини відбувається зміни, а саме почастішання дихання, підвищення артеріального тиску, підвищення пульсу. Було доведено, що людина до гучних звуків звикнути не зможе, оскільки вони завжди будуть стресом для організму. Саме тому, акустичному забрудненню в наш час небезпідставно приділяють увагу і шукають способи їх вирішення [5].

У численних дослідженнях вивчався вплив музики на різні системи людини. Залежно від висоти, сили і тембру звуку, темпу і тональності музичних творів змінюються показники серцево-судинної системи, вегетативні реакції. Проводилась велика кількість досліджень, де був доведений факт впливу музики на фізіологічний стан пацієнта. Наприклад, мажорна музика із швидким темпом, підвищує пульс і систолічний артеріальний тиск, підвищує тонус м'язів, підвищує температуру шкіри. Мінорна музика, яка має повільний темп, скорочує частоту серцевих скорочень, знижує систолічний артеріальний тиск, а також тонус м'язів і температуру шкіри. Використання акустичних вібрацій певних частот в музикотерапії, дозволяє отримати знеболюючий ефект за допомогою активізації систем організму. Ефект яскраво проявляється також при встановленні безпосередньо на шкіру звуковідтворювальних пристроїв у біологічно активних точках або проекції органу, з відповідним налаштуванням на певну біорезонансну частоту [5].

Інтенсивний розвиток технологій МТ дозволяє говорити про перспективу

зазначеного напрямку в рамках рішень основних питань відновлювальної медицини або педагогічного напрямку. При цьому, на думку дослідників, МТ як наука має три істотні переваги в порівнянні з іншими методами лікування, оскільки не викликає побічних ефектів, звикання, економічно доцільна, при своїй результативності вимагає мінімуму засобів. Перспективи розвитку музичної терапії полягають у розширенні і об'єднанні інформаційного простору, належного науково-практичного обміну досвіду між представниками мистецтва і науки.

Висновки

Біологічний зворотний зв'язок (БЗЗ) – це поняття, яке використовується для позначення усвідомленого управління внутрішніми органами, системами і функціями організму людини.

Існують різні види БЗЗ-терапій, які використовуються від конкретно поставленої задачі. До них відносять БЗЗ-альфа-терапія, БЗЗ-тета-терапія, БЗЗ-бета-терапія, БЗЗ-SMR-терапія, БЗЗ-VNS-терапія.

Адаптивне біокерування є досить поширеним методом нейрофізіологічної корекції. Його переваги полягають в тому, що цей метод є неінвазивним, нетоксичним, надійним і ефективним, являється одним з найбільш перспективних при лікуванні багатьох хронічних захворювань у багатьох галузях медицини.

Другим неінвазивним методом, який допомагає досягти активізації пізнавальних процесів, моторики, емоційного розвитку, розвитку комунікативних навичок; сприяє диверсифікації емоційно-інтелектуальної сфери особистості, підвищенню працездатності мозку є музична терапія. Музикотерапія – це вид лікування, який використовує музику як інструмент в рамках терапевтичного взаємодії, метою якого є задоволення фізичних, емоційних, когнітивних і соціальних потреб людини чи розглядається як частина музичної освіти.

Основний принцип МТ полягає у особливості сприйняття людиною звуків і коливань. Людина здатна сприймати на слух звуки в діапазоні частот від 16 Гц до 20 кГц і характеризувати звуки за висотою, гучністю і тембром.

В музичній терапії виділяють активні, рецептивні та інтеграційні методи. Вони мають свої показання до призначення.

Інтенсивний розвиток технологій музичної терапії дозволяє говорити про перспективу зазначеного напрямку в рамках рішень основних питань відновлювальної медицини або педагогічного напрямку. При цьому, МТ як наука має три істотні переваги в порівнянні з іншими методами лікування, оскільки не викликає побічних ефектів, звикання і економічно доцільна.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

2.1. Основи електроенцефалографії

У 1875 році вченим вдалося зафіксувати в корі головного мозку електричні коливання, що поклало початок створенню і розвитку такого методу дослідження як енцефалографія.

В 1913 році українському фізіологу Володимиру Правдич-Немінському у дослідках на тваринах і німецькому психіатру Гансу Бергеру в 1929 році уже на людях, вдалося розробити спосіб реєстрації коливань електричних потенціалів з поверхні голови. Саме тоді почали з'являтися прилади для запису енцефалограми – енцефалографи.

Головне завдання енцефалографії – це відображення сумарної електричної активності головного мозку з великого числа нейронів. За типом коливань, що відображаються на електроенцефалограмі (ЕЕГ) можна діагностувати багато неврологічних порушень. Згідно звіту Всесвітньої організації охорони здоров'я, епілепсія є хронічним неврологічним розладом, на який страждають приблизно 50 мільйонів людей у світі і щороку фіксується 2,4 млн нових випадків. ЕЕГ є найдієвіший метод діагностики для його виявлення і робота над ліками є необхідною для покращення життя хворих [6].

Електроенцефалографія – це метод дослідження діяльності головного мозку людини, в основі якого покладено вивчені раніше типи електричної активності різних його відділів, за допомогою електроенцефалографа. ЕЕГ сигнал відображає в часі зміни електричного потенціалу, а саме на певних ділянках шкіри голови. Ці зміни виникають завдяки дії біоелектричної активності центральної нервової системи. Для точних результатів вимірювання необхідне виконання певних вимог при проведенні процедури, а також дотримання загальних положень під час проведення реєстрації ЕЕГ.

Відомо що різниця електричних потенціалів на поверхні голови має

відносно невелику амплітуду і в нормі становить 100-150 мкВ. Необхідно враховувати що для реєстрації слабких потенціалів використовують підсилювачі з великим коефіцієнтом підсилення (приблизно 20 000-100 000). Приміщення в якому проводиться електроенцефалографічне дослідження, повинно відповідати спеціальним нормам – мати температуру 20-22⁰ С, знаходитися в найбільш тихій частині будівлі, подалі від проїжджої частини, великих вулиць, рентгенівських установок, фізіотерапевтичних апаратів, трансформаторів та інших завод. Лабораторія для ЕЕГ-досліджень, повинна складатися з звукоізольованої, світлоізольованої кімнати для пацієнта (камери) і апаратної, де розміщуються електроенцефалограф, стимулююча і аналізуюча апаратура. У приміщенні повинні бути відсутні яскраві кольори, оскільки це може негативно сказатися на психо-емоційному стані пацієнта. Оюов'язковою є наявність місця для сидіння, або лежання. У разі присутності сильного електромагнітного поля, що створює завади, можуть бути використані екрановані камери. Екранована кімната якій розташовується обстежуваний, зазвичай обшита листами металу. звареними між собою, з подальшим заземленням. [7]

Відомо що ЕЕГ, реєструє різницю потенціалів між двома точками, поверхні голови обстежуваного. Голова в даному випадку, відіграє роль об'ємного провідника, тому є певні вимоги і для пацієнтів. Лікар повинен повідомити пацієнта перед проведенням електроенцефалографії, за який час до процедури слід скасовувати плановий прийом препаратів. Не пізніше ніж за 12 годин до ЕЕГ обстеження, необхідно припинити прийом кофеїну або енергетиків (наприклад: чай, кава, кола шоколад). Поїсти рекомендовано за дві години до процедури. Перед дослідженням необхідно вимити голову і не наносити на волосся ніяких засобів (лаків, кондиціонерів, масок, масел), так як це послабить контакт електродів з шкірою голови. ЕЕГ проводиться в спокійному стані, пацієнту не можна нервувати і рухатися.

Порядок запису і показання для проведення ЕЕГ.

Коротко опишемо процедуру проведення електроенцефалограми (рис 2.1)

для дорослих (для дітей немає значних відмінностей, окрім самих маленьких які постійно рухаються, що створює артефакти):

- При дослідженні пацієнт, може сидіти в кріслі або лежати на ліжку.
- До голови кріпляться електроди - це робиться за допомогою особливої шапочки-шолома. Ці електроди підключають до електроенцефалографа. Варто відмітити, що при реєстрації ЕЕГ важливе значення має розташування електродів, оскільки електрична активність з різних точок голови, що були зафіксовані може дуже відрізнятись. У разі тривалого дослідження, електроди можуть бути закріплені спеціальною пастою чи клеєм.



- Рис. 2.1. Приклад проведення ЕЕГ

В ході процедури можуть проводитися проби з фотостимуляції або гіпервентиляції. Фотостимуляція – це вплив яскравого світла на людину, а гіпервентиляція – це методика дихання, де пацієнт протягом певного часу робить глибокі вдихи. Ці проби дають можливість виявити певні порушення, які не можна буде виявити перебуваючи в стані спокою. ЕЕГ можуть проводити під час сну чи з відеозаписом, його ще називають відеомоніторинг-ЕЕГ. Час проведення залежить, від ходу проведення дослідження, стану пацієнта,

можливостей лабораторії. В середньому це займає не більше 30 хвилин. Електроенцефалографія не є універсальним методом дослідження головного мозку і тому має свої показання для її проведення. Показники для проведення: напади мимовільних рухів, незрозуміла поведінка, непритомність, виникнення епілептичних нападів. Обов'язковим є дана процедура при травматичних ушкодженнях головного мозку, щоб можна було визначити місце пошкодження і оцінити ступінь складності змін мозку. ЕЕГ допомагає виявити осередок вогнища при таких захворюваннях: епілепсія, судомні напади, розлади сну, менінгіт, епілепсія, ендокринні паталогії, затримка психологічного та мовного розвитку, невротичні порушення та інші.

Також ЕЕГ використовують для дослідження мозку, наприклад реакцію на вплив різних подразників – звукових хвиль, фотостимуляції, дії препаратів на онкретні ритми головного мозку тощо.

Головна перевага електроенцефалографії – відсутність протипоказань до її проведення. Дана процедура є безпечною, проводиться досить швидко і не викликає дискомфорту у пацієнтів.

2.2. Огляд сучасних електроенцефалографів

Електроенцефалограф або енцефалограф – це прилад для реєстрації біоелектричної активності мозку, за допомогою якої можна оцінити його функціональний стан. Процедура запису біоелектричної активності називається електроенцефалографія, а результат запису – електроенцефалограма. Сучасні цифрові електроенцефалографи дозволяють якісно зареєструвати сигнал, архівувати, проводити вторинну комп'ютерну обробку, отримати результат обстеження, в режимі реального часу

Установка, за допомогою якої відбувається запис електроенцефалограми складається з електродів, провідників, які з'єднують електроди і електроенцефалограф, власне електроенцефалографу, а також комп'ютера для

обробки отриманих даних. Сам електроенцефалограф має у своєму складі: блок комутатор, блоки підсилювачів і фільтрів, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), та може мати засоби відео фіксації, фото стимуляції, тощо.

Процес електроенцефалографії виконується в кілька етапів: в першу чергу відбувається реєстрація за допомогою електродів потенціалів головного мозку, потім отриманий сигнал підсилюється і фільтрується, відбувається запис результатів. Отримані дані в подальшому обробляються і аналізуються за допомогою комп'ютера. Аналіз електроенцефалограми або розшифровку результатів може проводити фахівець який має відповідну кваліфікацію, наприклад: лікар функціональної діагностики, невролог тощо.

Класифікація електроенцефалографів.

На сьогоднішній день існує багато різних типів електроенцефалографів, кожен з яких виробляється і оптимізується відповідно під вирішення конкретних завдань. Виділяють стаціонарні, амбулаторні, портативні та нейрогарнітури. Всі вони мають одну структурну схему, а розрізняються додатковими опціями і розмірами пристроїв.

Стаціонарний електроенцефалограф дозволяє записувати короткі і тривалі ЕЕГ дослідження. Сам запис може відбуватися у стаціонарі або в інших лікувально-профілактичних установах. Має додаткові функції, що дозволяє проводити фото / аудіостимуляції або проводити ЕЕГ-відеомоніторинг. Тому даний тип електроенцефалографів має найбільший функціонал. Головним недоліком є великі габарити.

Амбулаторний електроенцефалограф призначений для проведення ЕЕГ запису поза лікарнею чи лікувальною установою. Завдяки такому пристрою можна проводити тривалі записи вдома для маломобільних пацієнтів в комфортних для них умовах, що дозволяє зменшити стрес і нервову напругу. Відповідно ЕЕГ дослідження стає більш інформативним.

Портативний електроенцефалограф має найменші розміри і поміщається в спеціальний невеликий контейнер для транспортування. Контейнер вміщує

електроди, акумулятор та інше необхідне устаткування. Перевага портативного електроенцефалографа полягає у можливості проводити реєстрацію біоелектричної активності головного мозку під час виїзних обстежень. Також можливе його застосування у випадках, коли необхідно провести ЕЕГ дослідження в екстрених умовах для немобільних пацієнтів, наприклад в реанімації або операційній.

Нейрогарнітури зазвичай являють собою дротову чи бездротову мобільну систему ЕЕГ дослідження, яка дозволяє збирати сигнали мозку клінічного рівня. Система влаштована таким чином, що модуль для діагностики мозкової активності встановлюється на голові, після чого відбувається з'єднання з комп'ютером чи телефоном. Головним недоліком більшості моделей є низька якість сигналу, що обумовлено невеликою кількістю електродів. Також до мінусів можна віднести низьку надійність сигналу при активних фізичних навантаженнях і нетривалий період дії бездротових гарнітур. До позитивних моментів можна віднести їх розповсюдженість, ціну і компактність, а також використання у побуті чи фізичних заняттях для дослідження мозкової активності людини.

Класична схема електроенцефалографа і принцип його роботи.

Розглянемо блок-схему пристрою (рис 2.2). *Електроди* – це датчики які сприймають і відводять біоелектричну активність мозку з різних ділянок поверхні голови (рис 2.3). Електроди, які використовуються в електроенцефалографії представляють собою металеві пластини або стрижні різної форми. Поперечний діаметр електрода становить близько 1 см, за формою він схожий на диск. Найпоширеніші типи електродів – це мостові, чашечкові, голкові. Для контактних хворих при звичайних обстеженнях використовують мостові електроди. Якщо дослідження проводиться на маленькій дитині чи неконтактних хворих протягом тривалого часу використовують чашечкові електроди. Голкові використовують під час операції для контролю центральної нервової системи та наркозу. Важливу роль відіграє розміщення електродів

відповідно від поставленої задачі. Головні вимоги до електродів: наявність мінімального опору, відсутність поляризації, окислення та власного шуму, не повинно істотно впливати на сигнали в діапазоні від 0,5 до 70 Гц.

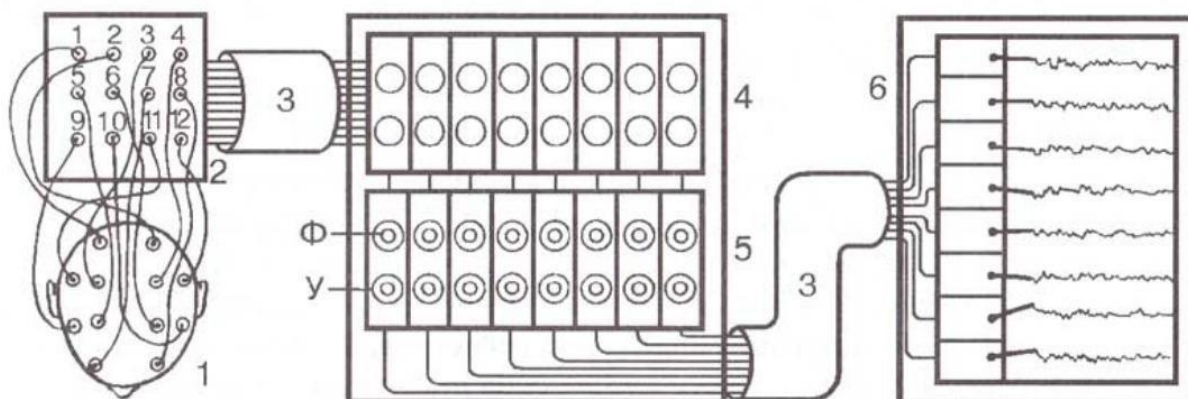


Рисунок 2.2. Блок-схема електроенцефалографа:

1 - голова пацієнта з електродами (вид зверху); 2 – вхідна коробка; 3 – з'єднувальні провідники; 4 - селекторний блок з перемикачами для кожного каналу; 5 - блок підсилення з регуляторами фільтрів високих та низьких частот (Ф) і регулюванням підсилення (У); 6 - реєстраційний блок. [7]



А



Б

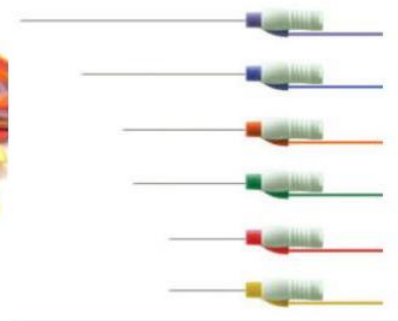


Рисунок 2.3. Електроди: а) мостові; б) чашечкові; в) голкові.

Вхідна коробка – це блок з підсилювачами, система якої може містити блок аналого-цифрового перетворення ЕЕГ. Зазвичай вхідна коробка електроенцефалографа являє собою 20-40 або більше пронумерованих контактних гнізд, до яких можна під'єднати електроди. Також є окремо відмічений електрод заземлення, що слугує для вирівнювання потенціалів тіла пацієнта і підсилювача [7].

З'єднувальні провідники – їх головна роль полягає в передачі сигналу між

електродами і комутатором. Оскільки електроди не повинні створювати перешкод, вони мають надійну ізоляцію, низький опір, добре захищені від електромагнітних і електростатичних полів.

Селекторний блок – його функція полягає швидкій передачі отриманого сигналу на блок підсилення регуляторів, з можливістю перемикача регуляторів підсилення (У) і фільтрів (Ф).

Блок підсилення – цей блок складається з набору підсилювачів, що відповідає кількості каналів реєстрації. Канали мають ручки управління, які виведені на передню панель блоку підсилення. В цих каналах присутні фільтри високих та низьких частот, які необхідні для встановлення пропускну здатності підсилювача.

Фільтр низьких частот застосовуються для визначення верхньої межі частот. Ці фільтри використовуються якщо в записі є високочастотні перешкоди. Такого типу перешкоди можуть виникати, коли пацієнт не може достатньо розслабитись і перебуває в стані стресу [7].

Фільтри високих частот застосовуються для обмеження нижньої пропускну здатності пристрою. Його використовують для видалення артефактів, які можуть виникати у разі незначного зміщеннями електрода або зміною контакту між шкірою і електродом.

Реєстраційний блок – це блок, що сприймає попередньо підсилений сигнал. Також можливе виведення підсиленого сигналу за допомогою додаткових виходів на зовнішні системи реєстрації чи обробки. У цифрових електроенцефалографах результати записуються на диск комп'ютера з можливістю одночасно виводити зображення результатів дослідження на екран. Після закінчення результати можна представити у вигляді паперової копії за допомогою принтера. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) дає можливість використання комп'ютерного ресурсу для зберігання сигналів чи їх обробки. Якщо комп'ютер є потужним то фільтрація сигналів може проводитися програмно, що призводить до більше стабільних характеристик обробки

сигналів, а також покращує можливість їх оперативного регулювання частотної характеристики.

Основні характеристики електроенцефалографа. До основних характеристик відноситься: частота дискретизації, розрядність АЦП, вхідний опір підсилювача, вхідний опір електрода, фільтрація сигналу, кількість каналів, коефіцієнт придушення синфазного сигналу та інше.

Частота дискретизації – головна суть полягає у визначенні кількості звернень до аналогового сигналу за одиницю часу. Є стандартною характеристикою для більшості сучасних підсилювачів у електроенцефалографії. Для обробки ЕЕГ-сигналу необхідна частота дискретизації не менше 90 Гц. Проте у разі проведення клінічних досліджень і запису стандартної ЕЕГ, можлива необхідність у більш точних відображення оцифрованого сигналу і частота дискретизації не менше ніж 256 Гц. У разі наукових досліджень може знадобитися більш висока частота дискретизації, яка може становити 512 Гц або навіть 1024 Гц.

Розрядність АЦП – при перетворенні аналогового сигналу в цифровий відбувається квантування, тобто розбиття деяких величин, а в нашому випадку - напруги сигналу (амплітуди) на кінцеве число рівнів, кількість рівнів визначає розрядність. Чим більшою розрядністю володіє електроенцефалограф, тим менші зміни він може зареєструвати, часто в контексті характеристик електроенцефалограф розширення і розрядність представляють тотожними поняттями. Нейрогарнітури або старі електроенцефалографи мають розрядність АЦП 16 або менше біт. У сучасних використовуються АЦП розрядністю 24 біт.

Вхідний опір підсилювача – це опір першого каскаду підсилювача. Вхідний опіру підсилювача зазвичай має величину порядку 1 МОм і вище. Вхідний імпеданс підсилювача приблизно в 100 разів більше імпедансу електрода, це необхідно для уникнення ослаблення амплітуди сигналу.

Вхідний опір електрода – це опір між електродом і шкірою. Для дослідження краще використовувати електроди з меншим імпедансом, це

дозволяє записувати сигнал кращої якості. На вхідний опір електродів впливають властивості шкіри людини, а також розміщення електродів, оскільки в різних відділах голови шкіра відрізняється товщиною, кількістю сальних залоз тощо.

Коефіцієнт придушення синфазного сигналу – це здатність самого підсилювача усунути синфазний сигнал, якому чим вище значення, тим краще характеристики підсилювача. По суті їх головне завдання послаблювати електричний шум 50/60 Гц, який виникає у електромережі при одночасному проведенні ЕЕГ дослідження мозкової активності.

Кількість каналів – визначає можливість підключення певної кількості електродів. Саме від кількості електродів залежить якість ЕЕГ.

Наприклад, для клінічних досліджень в основному користуються схемами накладання електродів 10-20, при цьому кількість електродів становить від 16 до 21. Під час наукових досліджень, можливе використання схеми накладення електродів 10-10, де кількість електродів може перевищувати 100. Нейроганаїтури мають малу кількість каналів - 2 або більше, що призводить до зниженні якості запису.

Порівняння електроенцефалографів за технічними характеристиками. Для порівняння було обрано електроенцефалограф українського виробництва BRAINTEST 16 та BRAINTEST 24 (рис. 2.4). У порівнянні будуть представлені версії з базовою комплектацією, порівняння буде наведено у таблиці 1.



Рисунок 2.4. Вигляд електроенцефалографів: а) RAINTEST 16; б) BRAINTEST

Таблиця 2.1. Характеристики енцефалографів

Технічні характеристики	BRAINTEST 16	BRAINTEST 24
Кількість каналів ЕЕГ	16	23
Діапазон реєстрації вхідного сигналу	1 ... 2000 мкВ	1 ... 4000 мкВ
Напруга внутрішніх шумів	Не більше 2 мкВ	Не більше 2 мкВ
Коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу на частоті 50 Гц	Не менш 100 дБ	Не менш 100 дБ
Розрядність АЦП	16 біт	24 біт
Перемикання НЧ і ВЧ фільтрів	програмне	програмне
Постійна часу фільтрів ВЧ	0.1, 0.3, 0.7, 1.0 С	0.1, 0.3, 0.7, 1.0 С
Перемикання НЧ і ВЧ фільтрів	програмне	програмне
Операційна система	Windows 8, 8.1, 10	Windows 7, 8, 8.1, 10

Порівняльний аналіз вищезазначених приладів показав, що обидва електроенцефалографів можуть використовуватися для проведення дослідження по системі "10 - 20" і не тільки. Технічні характеристики пристроїв відрізняються, за окремими випадками. BRAINTEST 24 є більш новим і технічно досконалішим порівняно із BRAINTEST 16. Тому більш широко використовується BRAINTEST 24 у клінічних дослідженнях. Ці моделі можуть доповнюватися додатковими опціями таким як відеореєстрація або звукової і світлової стимуляції

2.3. Ритми головного мозку

Робота головного мозку супроводжується виникненням електричних коливань різного типу, які визначаються психічним станом самої людини. Наука що вивчає фізіологічні основи психологічних процесів, називається

психофізіологія. Електричні коливання у психофізіології розглядаються як ритмічна активність головного мозку.

Електроенцефалограми реєструють в діапазоні від 0,3 до 50 Гц. До її складу входять основні ритми мозку (рис. 2.5) - дельта-ритм (від 0,5 до 4 Гц), тета-ритм (від 4 до 8 Гц), альфа-ритм (від 8 до 13 Гц), низькочастотний бета- ритм або бета-1 -ритм (від 13 до 25 Гц), високочастотний бета-ритм або бета- 2-ритм (від 25 до 32Гц). Цим ритмам відповідають активності - дельта- активність, тета-активність, альфа-активність, бета-активність [8].

Альфа-ритм – це нормальна ритмічна активність ЕЕГ, яка реєструється при відкритих або закритих очах у стані спокою у 85-95% здорових дорослих. У здорових людей альфа-ритм домінує в потиличних відділах мозку; згасає по амплітуді від потилиці до чола; в лобових відділах не реєструється, якщо використовувати біполярне відведення електродів, з малими міжелектродними відстанями; є симетричними по частоті і амплітуді як у правій, так у лівій півкулі; за образом альфа-ритми є веретеноподібними, форма хвилі синусоїдальна. У здорової людини альфа-ритм є домінуючим в області тім'яної, потиличної, сенсомоторної кори. Частота альфа-ритму знаходиться в межах від 8 до 13 Гц. Зазвичай у здорової людини тривалість альфа-хвиль 80-125 мс, амплітуди - близько 30-50 мкВ. Даний тип хвиль може послаблюватися чи блокуватися при підвищенні уваги або розумової активності. Модуляція – це правильне зростання і спадання амплітуди альфа- ритму, на моніторі має вигляд горизонтального веретена. Альфа-ритм вважається регулярним, коли періоди хвиль відрізняються, проте не більше 0,5 Гц.

Мозок генерує хвилі в стані бадьорості, коли людина розслаблена. Альфа-хвилі вказують на оптимальний стан головного мозку, в такому стані нервова система здатна до самовідновлення та саморегуляції. Вироблення такого ритму призводить підвищення розумової діяльності, покращення сну, позитивний вплив на імунітет.[8]



Рисунок 2.5. Типи мозкових хвиль

Бета-ритм – це ритмічна ЕЕГ, частота якої знаходиться в смузі частот від 13 Гц до 32 Гц. Бета-ритм спостерігають в лобових відділах мозку, на межі веретен альфа-ритму, він симетричний по амплітуді в правій і лівій півкулях. Образ хвилі асинхронний, аперіодичний, амплітуда 3-5 мкВ. Тривалість хвиль 40-75 мс, за формою близькі до трикутних внаслідок загостреності вершин. Відносяться до швидких хвиль. Їх амплітуда в 4-5 разів менше, ніж амплітуда альфа-хвилі. Відсутність бета-активності не є ознакою патології.

Бета-ритм поділяється на категорії: низький бета-ритм – від 13 до 21 Гц (бета-1); високий бета-ритм - від 21 до 30 Гц (бета-2) і гамма-ритм – активність з частотою більше 30 Гц. Бета-хвилі генеруються у стані бадьорості. Наприклад, людина виконує звичні буденні справи, що потребують мислення та уваги. Цьому ритму притаманний стан тривожності, переживання стресу, суму, гніву. Кількість хвиль може зростати у ході розмов, навчальної діяльності.

Знижується генерування бета-хвиль, якщо людина виконує фізичні навантаження або займається працею. В організмі бета-хвилі спричиняють підвищення обміну речовин та кров'яного тиску. [8]

До повільних відноситься тета-ритм, та дельта-ритм. *Тета-ритм* – це ритм, частота якого лежить у межах від 4-8 Гц. Тета-активність проявилася навколо лобової середньої лінії у вигляді послідовності ритмічних хвиль з частотою 6-7 Гц. Також тета-хвилі існують в гіпокампі. Можливо зареєструвати цю активність в гіпокампі людини, яка доступна у дуже рідкісних випадках, наприклад, у пацієнтів з епілепсією. Амплітуда тета- ритму лежить в межах від 20 до 100 мкВ.

Чим нижче частота і вище амплітуда тета-хвиль, тим більш виражений патологічний процес. Появу повільнохвильової активності зазвичай пов'язують з дегенеративними ураженнями головного мозку. Якщо відбувається активне генерування тета-хвиль, то в головному мозку можуть виникати такі негативні наслідки: розлади концентрації уваги, мінливість, поява відчуття апатії та інше. У дорослої здорової людини, що знаходиться в стані пасивного неспання, тета-ритми не реєструються, вони спостерігаються тільки в стані сну або наркозу [9].

Другий тип повільних хвиль – це **дельта-ритм**. Його розподіляють за походженням, а саме у людини були виділені 2 типи дельта-коливань: перше має коркове походження, а другий генерується в таламусі. Повністю механіка генерування дельта-хвиль невідома, проте відбувається активний рух у вивченні цього напрямку. Амплітуда дельта-ритму знаходиться в межах від 20 до 200 мкВ. У здорової людини фіксується у межах частот від 0,5 до 4 Гц.

Дельта-хвилі є найбільш повільними, зазвичай спостерігаються в станах глибокого сну або повної коми. Проте в такому стані організм виробляє найбільше гормону росту і активізується самовідновлення. Іноді хвилі можуть виникати і в стані бадьорості разом із альфа-хвилями, наприклад при медитації [8].

2.4. Обробка електроенцефалограми

На сьогоднішній день, на жаль немає повністю автоматизованих програм які здатні самостійно зробити обробку ЕЕГ, бо зараз необхідна участь кваліфікованого фахівця. Пов'язано це з тим, що є велика варіабельність клінічних випадків і все індивідуально. Для того щоб відмітити на ЕЕГ відповідні ознаки захворювання, енцефалограму піддають аналізу. При аналізі ЕЕГ спираються на такі характеристики як: середня частота коливань, максимальна амплітуда, оцінюються відмінності у кривих ЕЕГ, а саме їх тимчасова динаміка на різних каналах. Взагалі результати електроенцефалограми кори мозку і підкіркових утворень мозку, варіюються залежно від віку, захворювань та функціональних особливостей, також складається з різних по частоті повільних коливань які були розглянуті раніше.

Програмний аналіз зазвичай використовує традиційні підходи, до яких входять такі методи як: цифровий, спектральний і кореляційний аналіз. На жаль, людини має обмежені можливості при візуальному аналізі ЕЕГ, це призводить до того що цілий ряд частот, не можливо точним чином охарактеризувати. Проте завдяки технологіям можливе реалізувати це програмним чином.

Метод накладання електродів.

Перед тим як починати проводити ЕЕГ дослідження, необхідно зрозуміти що фахівець хоче побачити на ньому, відповідно від скарг пацієнта чи звичайному проведенні огляду. Тому для обробки електроенцефалограми у подальшому, важливим моментом є методи накладання електродів і відповідно з цього будуть отримані певні результати від яких уже можна зробити висновки

Існує 2 категорії відведення електродів: *біполярні і монополярні* (рис 2.6). Відведення – це пара електродів, які з'єднані на одному каналі електроенцефалографа і запис ЕЕГ яка отримана, вході цього процесу.

Біполярне відведення ЕЕГ – це коли різниця потенціалів вимірюється між двома окремими електродами, зазвичай це сусідні електроди. Кожні електроди

утворюють пару і з цих пар реєструється сигнал. Переваги: менше артефактів, порівняно з монополярним, також дає точніше уявлення про локалізацію вогнища змін біопотенціалів. Недоліки: погашення синфазних сигналів, а також проблема у виявленні за допомогою якого електрода спостерігається реєстрація активності.

Монополярне відведення ЕЕГ – це різниця потенціалів, що реєструється між окремими електродами і загальним референтним електродом. Так один з електродів, а саме референтний поміщається на тканину, де потенціал практично дорівнює нулю, так коливання потенціалів реєструються тільки під електродом. Переваги: зданість визначити форму потенціалу, а також справжню фазу його відхилення. Недоліки: майже неможливо досягти нульового потенціалу, а також амплітуда біопотенціалів завжди вище, ніж при біполярному, через більші між електродні відстані. [10]

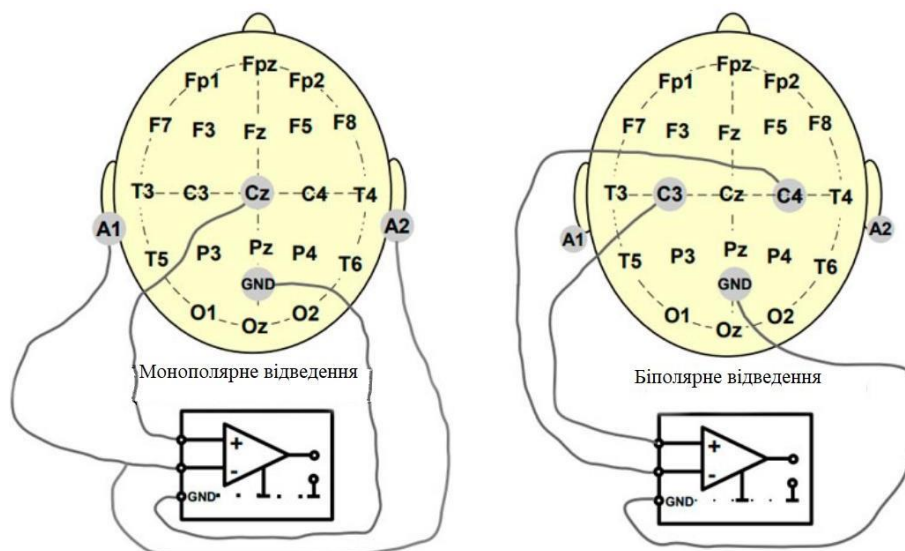


Рисунок 2.6. Приклад монополярного та біполярного відведення

Розглянемо 2 методи накладання електродів. Першим найбільш поширеним у клінічній і науковій електроенцефалографії є схема «10-20 %». У 1958 р. ця система була прийнята Міжнародною федерацією з електроцефалографії та клінічної нейрофізіології. Вона має стандартизоване

фізичне розміщення та позначення електродів на шкірі голови. [11] Голова ділиться на пропорційну відстань від орієнтирів черепа (Nasion, Inion) для забезпечення, гарного охоплення всіх областей мозку (рис 2.7).

Мітка 10-20 позначає пропорційну відстань у відсотках між вухами та носом, де вибираються точки для електродів, кількість електродів становить 21. Розміщення електродів позначаються відповідно сусіднім ділянкам мозку: F (фронтальна), C (центральна), T (скронева), P (задня) та O (потилична). Букви супроводжуються непарними числами ліворуч від голови і з парними числами праворуч. (рис 2.7). [11]

Кожен електрод шкіри голови розташований поблизу певних центрів мозку, наприклад F7 розташований поблизу центрів раціонального мислення, Fz поблизу мотиваційних центрів, F8 близько до джерел емоційних імпульсів. Навколо місць C3, C4 та Cz знаходиться центри із сенсорними та руховими функціями. Місця поблизу P3, P4 та Pz відповідають за сприйняття. Поблизу T3 і T4 розташовані емоційні процесори, тоді як у T5, T6 певні функції пам'яті. Первинні зорові зони можна знайти під точками O1 та O2. Однак електроди шкіри голови можуть не відображати інформацію на певних ділянках кори, це залишається відкритою проблемою через обмеження викликані неоднорідними властивостями черепа, узгодженістю між джерелами, тощо.

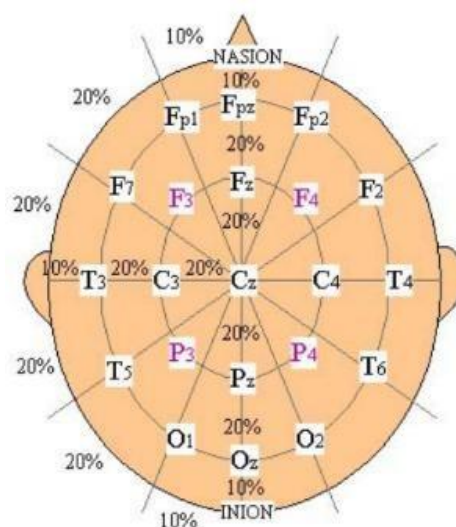


Рисунок 2.7. Вид зверху: розміщення електродів та позначення точок ділянок мозку відносно орієнтирів [11]

Такий метод використовується у переважній більшості клінічних та наукових дослідженнях, залежно від поставлених завдань, проте є винятки. [11]

Другий метод накладання електродів це - «10-10 %» (рис 2.8). Схема схожа на «10-20 %», проте має додаткові електроди (всього їх 76 штук), які встановлюються на відстані, рівному половині відстані між електродами в системі «10-20». Дана система, представляє спробу підвищення роздільної здатності ЕЕГ. До роздільної здатності умовно можна віднести можливість визначити джерела біоелектричної активності головного мозку як самостійні незалежні джерела.

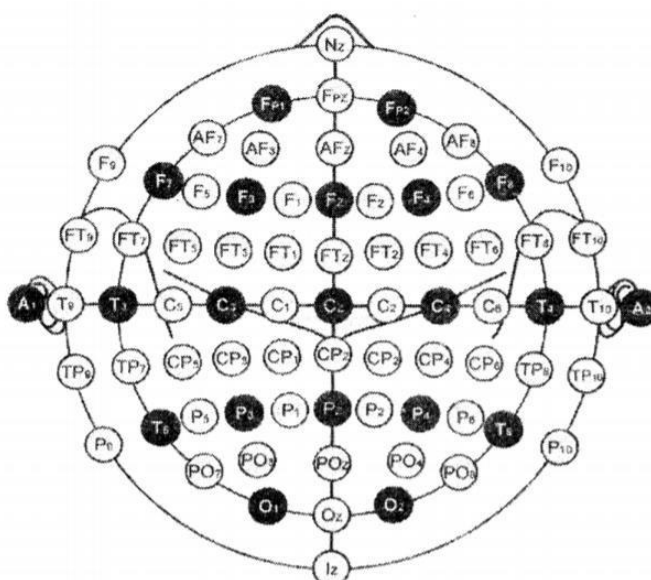


Рисунок 2.8. Схема розміщення «10-10 %» (Чорні позначення - це схема електродів для «10-20 %»)

Математичні методи аналізу ЕЕГ.

На сьогодні математичний аналіз дозволяє охарактеризувати важливі складові електроенцефалограми людини. Поширення отримали такі методи, як частотний, кореляційний аналіз, спектрально-когерентний, вони дозволяють оцінити просторово- часові параметри електричної активності.

До першого методу відноситься *частотний аналіз*, він дає можливість розкласти складну криву електричної активності мозку на частотні компоненти і

отримати спектр біоелектричних коливань мозку, оцінити частотні складові ЕЕГ. Наприклад, якщо взяти на ЕЕГ хворих з ураженнями мозку, де повільні хвилі досягають великої амплітуди, це виключає можливість судити про наявність або відсутність інших компонентів ЕЕГ. [12]

Другий метод це – *спектральний аналіз*, що близький за змістом до опису частотних характеристик при візуальному аналізі. Цей метод дозволяє визначити чіткість різних ритмічних складових в складній ЕЕГ, а також їх співвідношення. Даний метод дозволяє отримати інформацію про сумарну потужності спектра ЕЕГ і його частотних складових. На виході спектрального аналізу результати представляються у вигляді графіків, що включають спектральну щільність потужності (рис 2.9), графіків амплітудних спектрів, а також різних кількісних показників в табличному вигляді [12]

Сьогодні основу у більшості сучасних комп'ютерних програмах складає спектральний аналіз ЕЕГ, в основі якого лежить дискретне перетворення Фур'є з графічним представленням результатів обробки для всіх фізіологічно значущих діапазонів частот. [13]

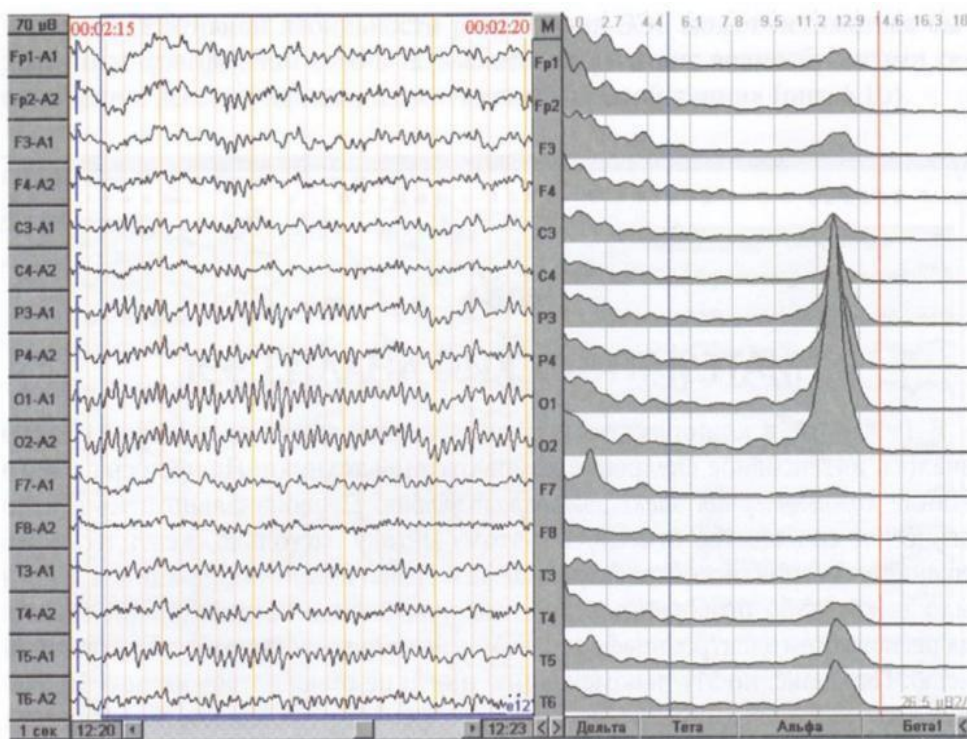


Рисунок 2.9. Спектральний аналіз ЕЕГ, де зліва – нативна ЕЕГ, праворуч – спектральна потужність в кожному відведенні.[13]

Третій метод це – *топографічні карти*. Вони дають змогу в наочній і стислій формі показати просторовий розподіл різних параметрів. Використання кількісних спектральних показників і спектрограм знижує ступінь суб'єктивності при описі та інтерпретації ЕЕГ, також при оцінці вираженої амплітудної і частотної асиметрії, при аналізі структури частотних складових. [13]

Четвертий метод це – *когерентний аналіз*. Когерентність дає змогу відобразити ступінь синхронності змін, що відбуваються у ЕЕГ в двох різних точках. Використання різних методів аналізу ЕЕГ, призвело до того, що стало можливо зробити висновок на підставі функції когерентності можна охарактеризувати мозаїку меж центральних відносин (рис 2.10). За вдяки проведенню обчислення когерентності ЕЕГ, можна виявити статичну зв'язок між коливаннями біопотенціалів, що протікають в різних відділах головного мозку. У здорових людей середній рівень когерентності ЕЕГ в стані неспання є стабільними при повторних дослідженнях, якщо їх провести через певні інтервали часу. Чим вище значення когерентності отримуємо, тим більш злагодженою є активність даної області з іншого, що обрана для вимірювання. Перевагою є незалежність коефіцієнта когерентності (КК) від амплітуди коливань сигналів у різних областях мозку. [13]

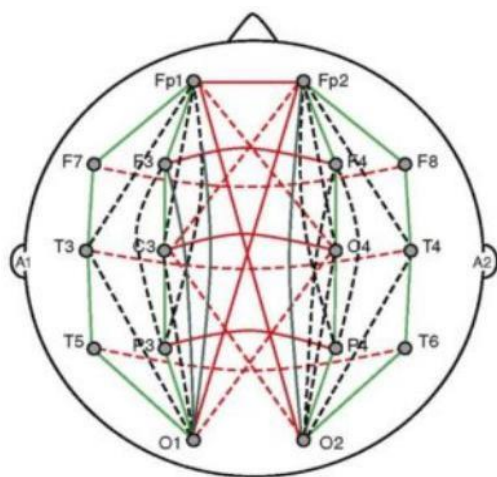


Рисунок 2.10. Повна схема аналізу когерентного зв'язку електроенцефалограми

Артефакти.

Артефакт – це різниця потенціалів або будь-яка зміна ЕЕГ- сигналу, що виникають поза мозковими факторами, до них відносять: помилки оператора, різні фізіологічні процеси під час запису, інструментальні перешкоди або збої. Артефакти бувають технічні та фізіологічні.

До технічних артефактів відносяться: вплив електромагнітних хвиль із мережі, від різної апаратури, пов'язані з хитанням дротів і погано закріплених електродів. Для їх усунення необхідно: регулювання енцефалографа, перевірка заземлювального пристрою, використання екранованої камери. Зазвичай усунення технічних артефактів не складає великої проблеми. [14]

До фізіологічних зазвичай відносять такі артефакти: рух очей, рухи голови, скорочення м'язів, напруга та інше. (рис 2.11)

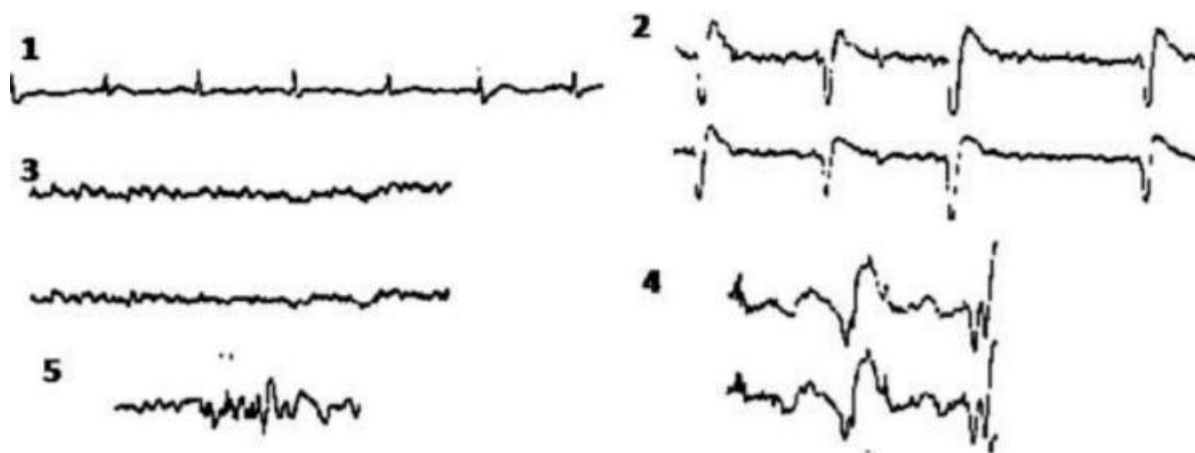


Рисунок 2.11. Фізіологічні артефакти: 1 – накладення кардіограми; 2 – рух очей; 3– скорочення м'язів; 4 – рухи голови; 5 – ковтальні рухи. [14]

Артефакти, які були виявлені у самій електроенцефалограмі, здатні до видалення за допомогою певного програмного забезпечення. Щоб уникнути цього, пацієнт повинен перебувати в стані спокою і розслабленим, також необхідно правильно накладати і закріплювати електроди.

Висновки

Головне завдання енцефалографії – це відображення сумарної електричної

активності головного мозку з великого числа нейронів. Електроенцефалографія не є універсальним методом дослідження головного мозку і тому має свої показання для її проведення. Сама процедура проведення повинна відповідати певним вимогам.

Існує багато різних типів електроенцефалографів, кожен з яких виробляється і оптимізується відповідно під вирішення спеціальних завдань. Їх зазвичай поділяють на стаціонарні, амбулаторні, портативні та нейрогарнітури. Всі вони мають одну структурну схему роботи. Основні характеристики електроенцефалографа: частота дискретизації, розширення аналого-цифрового перетворювача, розрядність АЦП, смуга пропускання, вхідний опір підсилювача, вхідний опір електрода, фільтрація сигналу, кількість каналів.

Електроенцефалографи реєструють основні ритми головного мозку дельта-ритм (від 0,5 до 4 Гц), тета-ритм (від 4 до 8 Гц), альфа-ритм (від 8 до 13 Гц), низькочастотний бета-ритм або бета-1-ритм (від 13 до 25 Гц), високочастотний бета-ритм або бета-2-ритм (від 25 до 32 Гц). Існує 2 категорії відведення електродів: біполярне і монополярне. Вони мають як свої переваги, так і недоліки.

Схема накладання електродів «10-20 %» є найбільш поширеним у клінічній і науковій електроенцефалографії, де використовується 21 електрод. Другий метод накладання електродів – це «10-10 %». Схема схожа на «10-20 %», проте має додаткові електроди (всього їх 76 штук).

До методів математичного аналізу відносяться: частотний аналіз, спектральний аналіз, топографічні карти, когерентний аналіз. Вони можуть застосовуватися як в комплексі, так і окремо.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПІД ЧАС МУЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ

3.1 Огляд музичних жанрів, що використовуються в музичній терапії

Існує велика кількість музичних жанрів, кожен з яких має свою аудиторію і прихильників. Проте не всі музичні твори підходять для проведення музичної терапії. Проведемо огляд музичних жанрів, які найчастіше використовують у своїй практиці музичні терапевти [15].

Класична музика. Класична музика часто використовується в музикотерапії і є визнаною у всьому світі. Цей жанр творів поєднує глибину, змістовність, досконалість форми та ідейну значимість. Композиції від всесвітньо відомих композиторів, таких як Людвіг ван Бетховен, Вольфганг Амадей Моцарт, Йоганн Себастьян Бах та інших є загальноновизнаними і широко використовуються сьогодні на громадському радіо та телебаченні або при приватних прослуховуваннях. Слухачі по всьому світу без досліджень, на власному досвіді помічали позитивний вплив цієї музики на організм та покращення настрою і самопочуття.

Електронна музика. Електронна музика включає в себе багато різних піджанрів. Основна особливість – мелодія може синтезуватися за допомогою комп'ютерів, навіть без використання певних музичних інструментів. В ході дослідження буде розглянуто: Tribal Downtempo та Psychedelic Trance (Психотранс) та Goa Trance.

Tribal Downtempo. Це широка категорія електронної музики, яка поєднує в собі вокальні співи, різні типи барабанів та органічні інструменти, що мають культурне та історичне значення для людини. Деякі з поширених інструментів, представлених у цьому музичному жанрі, включають джембе, думбек, різні дерев'яні флейти та багато іншого, що сприяє «племінній» атмосфері, яка

присутня у цьому жанрі. Цей тип різко змінюється за темпами, але зазвичай набагато повільніший (<100 ударів на хвилину), більшості типів електронної танцювальної музики.

Psychedelic Trance (Психотранс). Це унікальний жанр електронної танцювальної музики, що містить широкий спектр мелодій, гармоній, що зосереджених навколо унікальної ритмічної композиції. Типовий темп психотрансу становить приблизно 145–155 ударів на хвилину. Повідомляється, що Psychedelic Trance є як терапевтичним методом, так і має властивості для виникнення у людини такого стану як "стимулюючий транс".

Goa Trance. Це дуже схожий жанр за композицією на Psychedelic Trance, за винятком певних змін у стандартної структури ритму. Goa Trance, як правило також має типовий темп 145–155 ударів на хвилину з подібною мелодією. Goa Trance спочатку був розроблений на прекрасних пляжах Гоа, Індія, за допомогою різноманітних спільних музичних та цифрових музичних проєктів у 1970-х-1980-х роках. Також спостерігається лікувальні властивості та стан подібний до трансу.

Білий шум.

Це постійний шум, у якого спектральні складові мають рівномірне розподілення по всьому діапазону частот. Сьогодні білий шум активно використовується в музичній терапії. Дуже поширені зараз спеціальні додатки, що генерують його. Білий шум схожий на звуки водоспаду, струмка, краплі падаючого дощу, шелест листя. Вже широко відомий факт того, що цей шум позитивно впливає на організм і самопочуття людини.

Оскільки метою бакалаврської роботи є дослідження акустичних сигналів, що використовуються в музичній терапії, була обрана певна кількість музичних творів (табл. 2), які відносяться до жанрів і піджанрів які були розглянуті вище.

Таблиця 3.1. Жанри і композиції

№	Жанр чи під жанр композиції	Назва композиції
1	Класична музика	Людвиг Ван Бетховен - Symphony No. 5 in C minor
2	Tribal Downtempo	Koan – When We Left Arkaim
3	Psychedelic Trance (Психотранс)	M-Theory – L6 Echo
4	Goa Trance	Goalien – Do It Now
5	Білий шум	Водоспад Вікторія (аудіо запис)

3.2 Спектральний аналіз аудіо сигналів

Головна роль спектрального аналізу – це вивчення складних сигналів, які мають довільну форму. Ці сигнали можна буде представити за допомогою комбінації більш простих сигналів. Де на початку сигнал являється – довільною функцією від часу і розкладається за різними системами детермінованих базисних функцій [16]. Перетворення Фур'є широко використовується для перетворення та дослідження характеристик сигналів в частотній області. В основному, це пов'язано з тим, що в якості базисних функцій в перетворенні Фур'є використовуються синусоїдальні функції. При цьому з урахуванням того, що $\exp(j\omega t) = \cos(\omega t) + j\sin(\omega t)$ розраховуються проекції даного сигналу $x(t)$ на комплексну експонентну базисну функцію від частоти ω (рад / с)

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \exp(-j\omega x) dx$$

або для змінної частоти f (Гц) як:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \exp(-2j\pi ft) dx$$

Розглянуті вище вирази можна інтерпретувати як аналіз сигналу $x(t)$ по відношенню до комплексних експоненціальних базисних функцій. У разі, якщо сигнал є казуальним то, нижня межа інтегрування буде дорівнює 0, а верхня межа

буде дорівнює тривалості сигналу. Значення $X(\omega)$ або $X(f)$ для кожної досліджуваної частоти, де $\omega = 2\pi f$ являє частини відповідних косинусних і синусних функцій, що є в сигналі $x(t)$. Треба відмітити, що в загальному випадку $X(\omega)$ є комплексною функцією.

У разі дискретно-часового сигналу $x(n)$ можливо обчислити перетворення Фур'є з безперервно змінною частотою ω до як $X(\omega)$:

$$X(\omega) = \int_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \cdot \exp(-j\omega x)$$

з нормалізованим частотним діапазоном $0 \leq \omega \leq 2\pi$, що еквівалентно $0 \leq f \leq f_s$ в такому випадку n в наведеному вище виразі повинна бути помножена на інтервал дискретизації T в секундах.

Оскільки музика не є статичним сигналом, її спектр змінюється в часі. Тому при використанні спектрального аналізу нас зазвичай цікавлять окремі короткі фрагменти сигналу.

При обробці цифрового сигналу з використанням комп'ютера, змінні частоти ω також буде дискретизовано, як $\omega = 2\pi (f_s / N)$ або $\omega = (2\pi / N)k$ в разі нормалізованої частоти, де k – індекс відліку по частоті, а N – число відліків в межах одного періоду періодичного спектра $X(\omega)$. У цьому випадку ми маємо співвідношення для прямого дискретного перетворення Фур'є:

$$X(k) = \int_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \exp(-j\frac{2\pi}{N}kn)$$

У наведеному вище виразі передбачається, що розглянутий сигнал має N відліків. Вираз для зворотного дискретного перетворення Фур'є:

$$X(n) = \frac{1}{N} \int_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot \exp(j\frac{2\pi}{N}kn)$$

де $k = 0, 1, 2 \dots \dots N-1$

Дискретизація змінної частоти є причиною періодичності сигналу в часовій області. Наведені вище вирази визначають пряме та зворотне дискретне перетворення Фур'є, при обробці цифрового сигналу [17].

3.3 Програмне забезпечення для проведення спектрального аналізу аудіо-сигналів

Для виконання даного завдання було обрано програму Audacity версія Audacity – це редактор звукових файлів, орієнтований на роботу з кількома доріжками. Головна перевага даного програмного забезпечення це: зручний і зрозумілий інтерфейс, безкоштовність та кросплатформеність.

Основний функціонал даної програми:

- Audacity може записувати живий звук через мікрофон або мікшер, або оцифровувати записи з інших носіїв.
- можливість імпортувати, редагувати та комбінувати звукові файли;
- підтримка модулів VST та Audio Unit. Ефекти можна легко модифікувати в текстовому редакторі - або навіть написати власний плагін;
- доріжками та виділеннями можна повністю керувати за допомогою клавіатури. Великий вибір комбінацій клавіш;
- режим перегляду спектрограми для візуалізації та вибору частот. Вікно графічного спектра для детального аналізу частоти. Підтримка плагінів для аналізу, легке редагування за допомогою вирізання, копіювання, вставки та видалення.

Після того, як завантажили файл, необхідно перейти до стандартної процедури установки. Після цього відкриваємо програму (рис 3.2) та перевіряємо коректність її роботи. Для щоб встановити програму необхідно, перейти на офіційний сайт (<https://www.audacityteam.org/>) і обирати платформу у нашому випадку Windows (рис 3.1)

3.4 Спектрограми музичних творів різних жанрів

Після встановлення програми і її відкриття, необхідно із провідника де знаходиться файл з музикальними композиціями, перетягнути його на робоче вікно програми Audacity. (рис. 3.3)

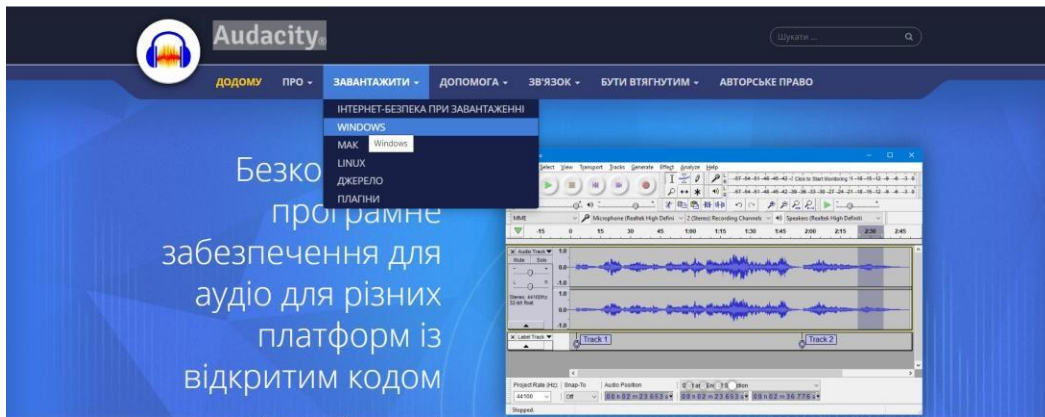


Рисунок 3.1. Вибір платформи

Далі за допомогою клавіш «Ctrl + A» виділяємо повністю доріжку, переходимо в графу «Аналіз – Побудувати графік спектра». (рис. 3.4)

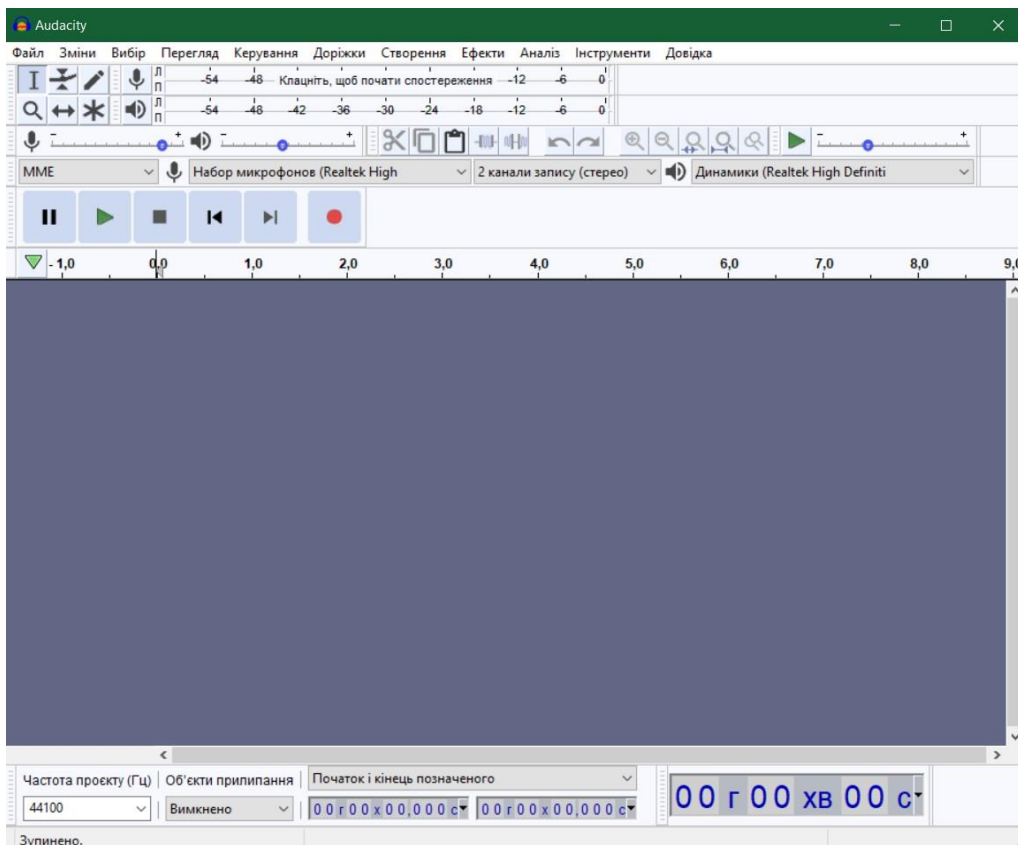


Рисунок 3.2. Робоче вікно Audacity

Після дій які були виконані вище, отримуємо спектрограму. Необхідно встановити певні налаштування, що знаходяться під спектрограмою.

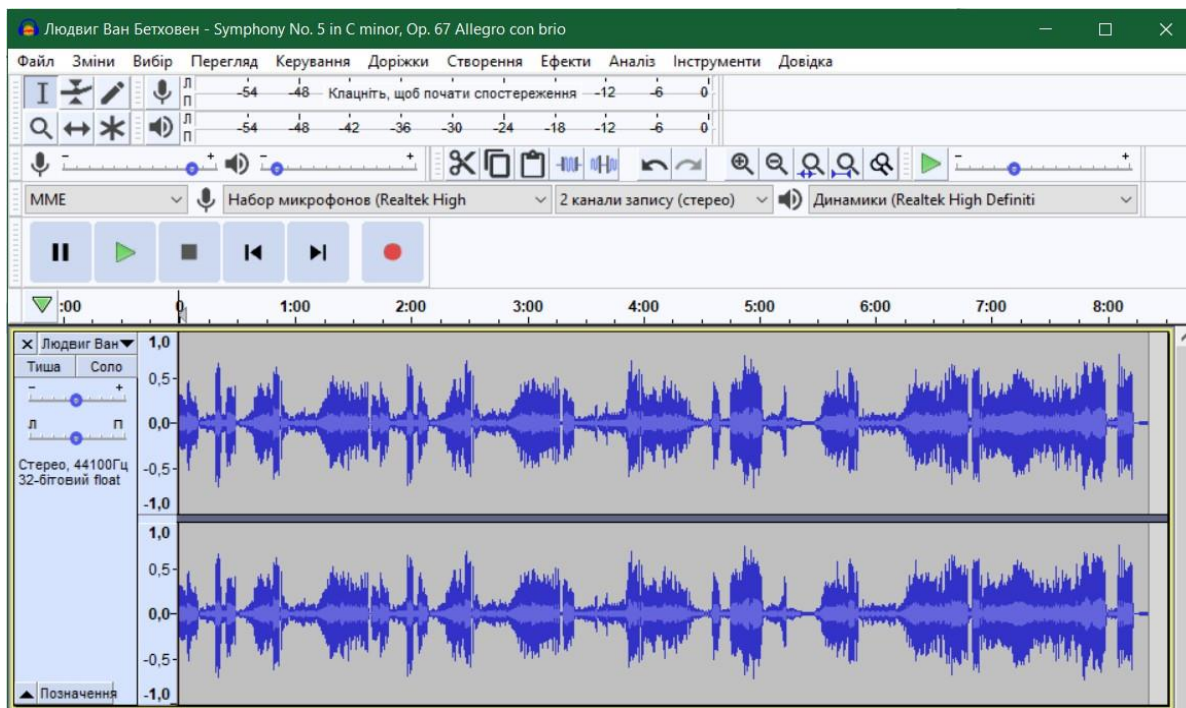


Рисунок 3.3. Відкритий аудіозапис

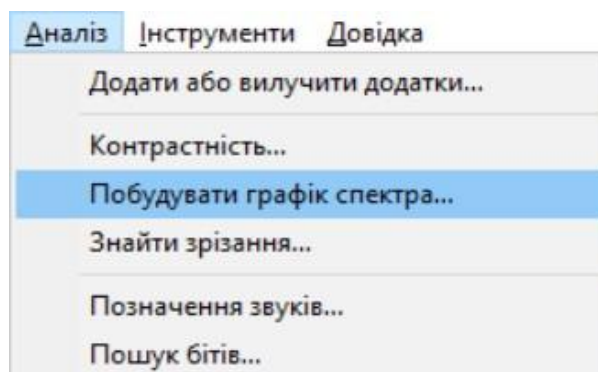


Рисунок 3.4. Аналіз – Побудувати графік спектра З’явиться повідомлення про те що звукова доріжка занадто велика і буде проаналізовано тільки певну її частину. (рис. 3.5)

Встановити відповідні параметри просто, необхідно вибрати «Алгоритм: Спектр», «Функція: Вікно Блекмен», «Розмір: 2048», «Вісь: Частота запису сигналу». Частота запису сигналу - це логарифмічний масштаб. Перший твір, що буде проаналізовано це - Людвиг Ван Бетховен - Symphony No. 5 in C minor. (рис. 3.6)

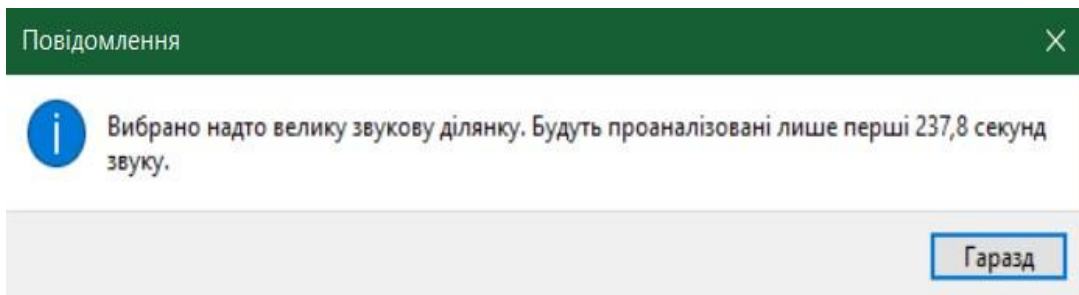


Рисунок 3.5. Попередження про обмеження

Необхідно зробити уточнення на рахунок зображення. Для проведення аналізу даної спектрограми її необхідно буде поділити на 3 основні частотні групи. Перша група – це низькочастотний сигнал, що лежить у діапазоні 20 – 300 Гц, скорочено НЧ. Друга група – це середньочастотний сигнал (СЧ), у межах від 300- 2500 Гц. Остання група – це високочастотний сигнал (ВЧ), межі якого 2500- 20000 Гц.

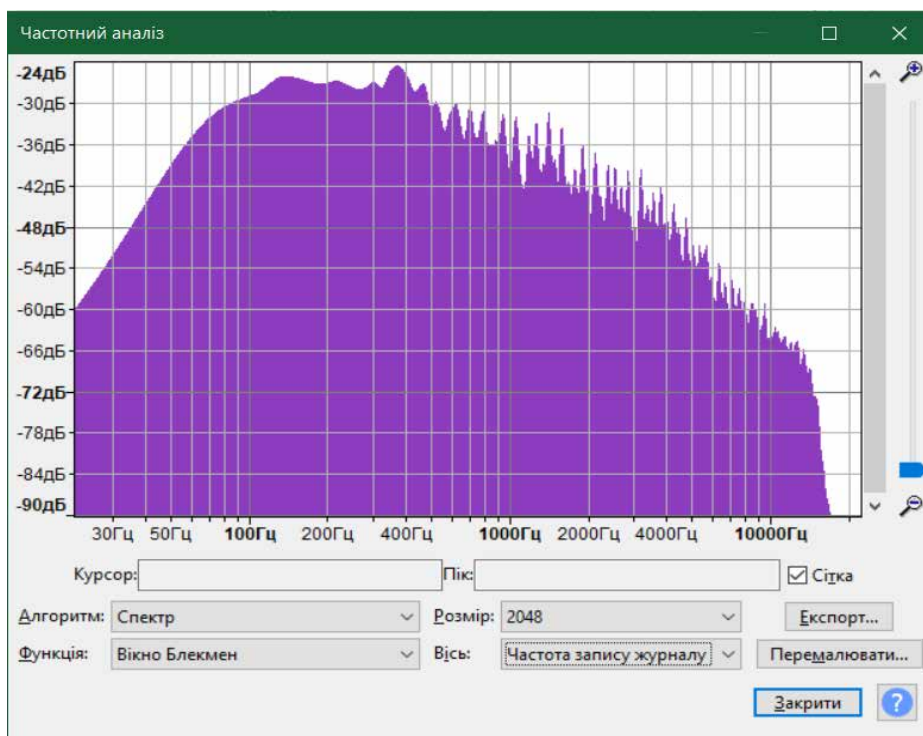


Рисунок 3.6. Спектрограма Людвиг Ван Бетховен - Symphony No. 5 in C minor

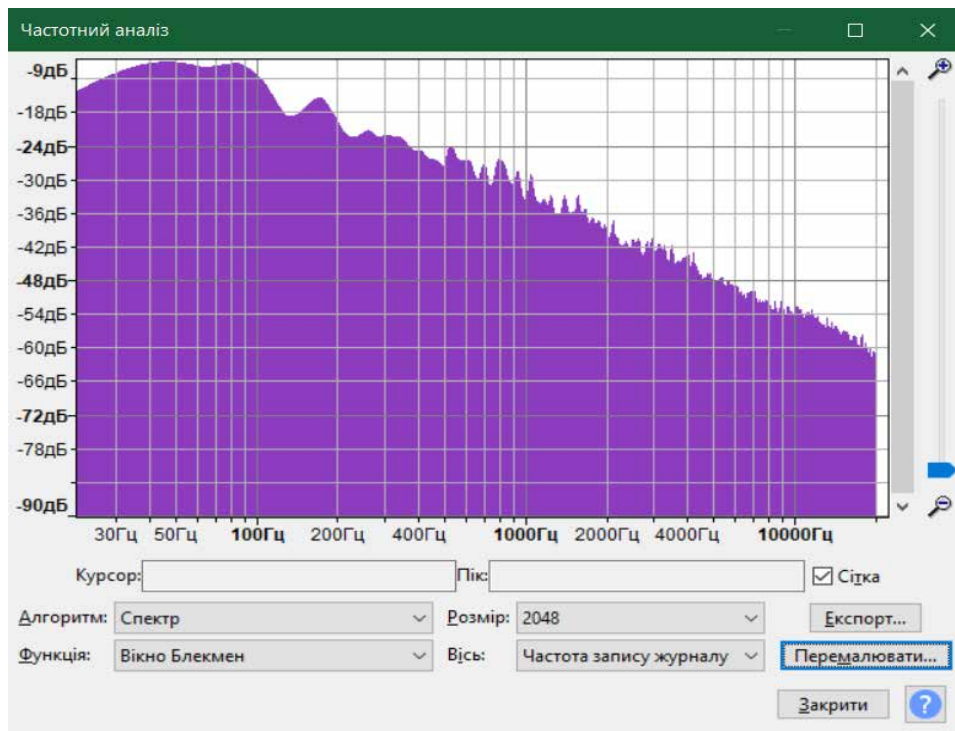


Рисунок 3.7. Спектрограма уривку Коан – When We Left Arkaim

Спектрограма композиції Людвиг Ван Бетховен – Symphony No. 5 in C minor показує, що в ній переважають низькі та середні частоти. Саме на НЧ композиція має високий рівень звуку, проте пік знаходиться у діапазоні середніх частот. На високих і середніх частотах помітні піки.

Уривок, що зображений на Рис 3.7 наглядно демонструє що дана композиція відноситься до НЧ групи, оскільки саме на НЧ переважає рівень звуку, а на середніх та високих частотах відбувається поступове його зменшення, з окремими піками. На уривку композиції M-Theory – L6 Echo (рис 3.8), можна помітити домінування рівня звуку на низьких частотах, отже дана композиція що використовується в музичній терапії також належить до НЧ групи.

Спектрограма композиції Goalien – Do It Now (рис 3.9), наглядно демонструє домінування рівня звуку знову ж на низьких частотах, з поступовим спаданням на НЧ. Далі спостерігається майже вирівнювання рівня звуку на середніх та високих частот, проте є піки і стрімке спадання на низьких частотах, проте це нормально і в висновку буде пояснено.

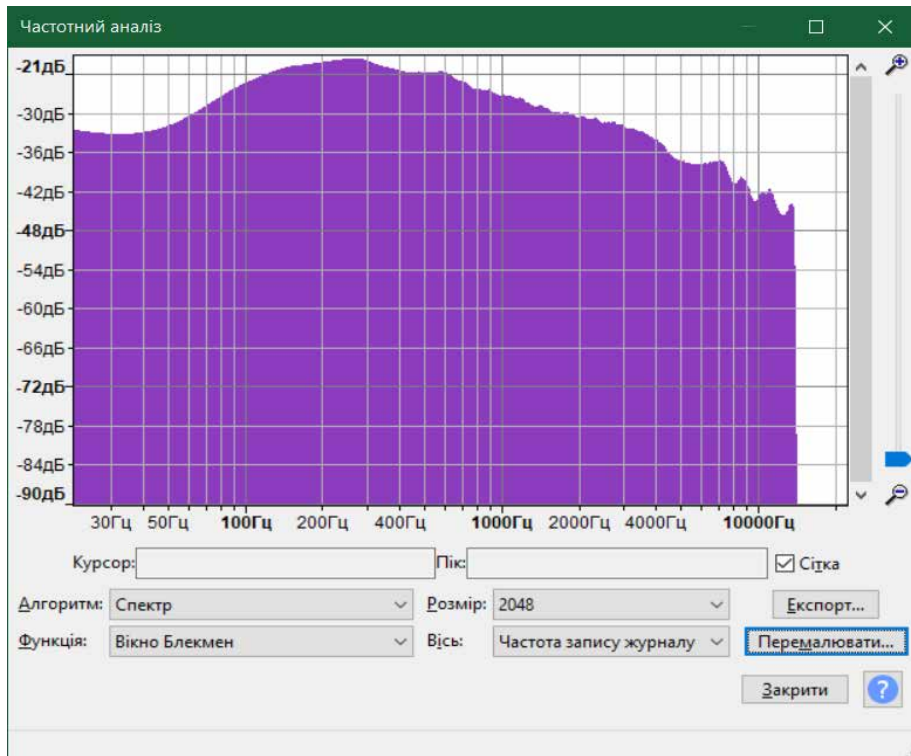


Рисунок 3.8. Спектрограма уривку M-Theory – L6 Echo

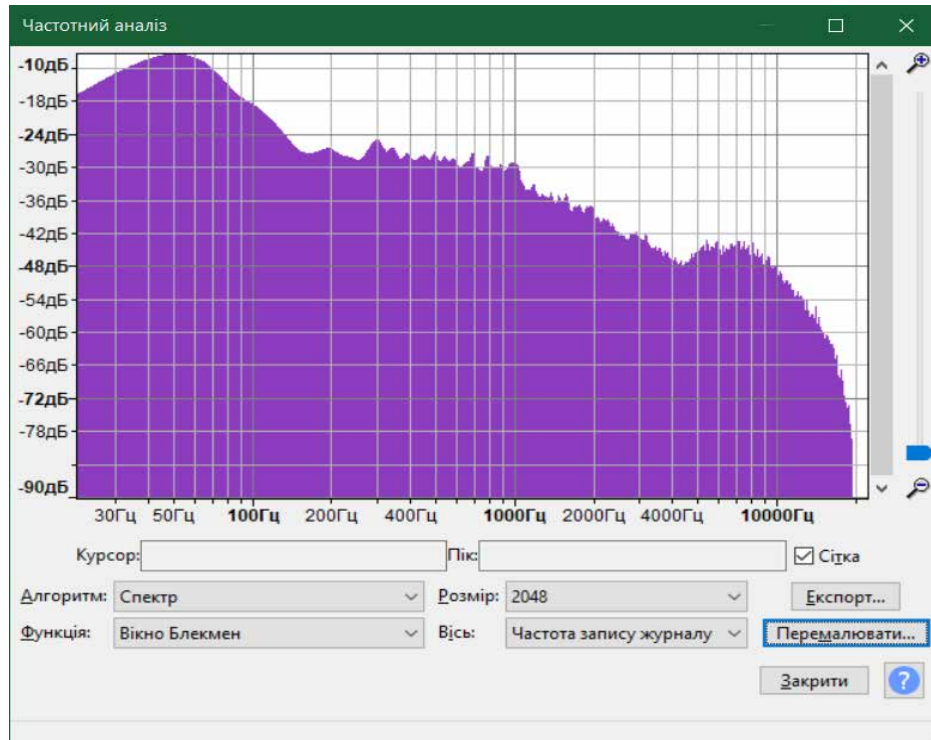


Рисунок 3.9. Спектрограма уривку Goalien – Do It Now

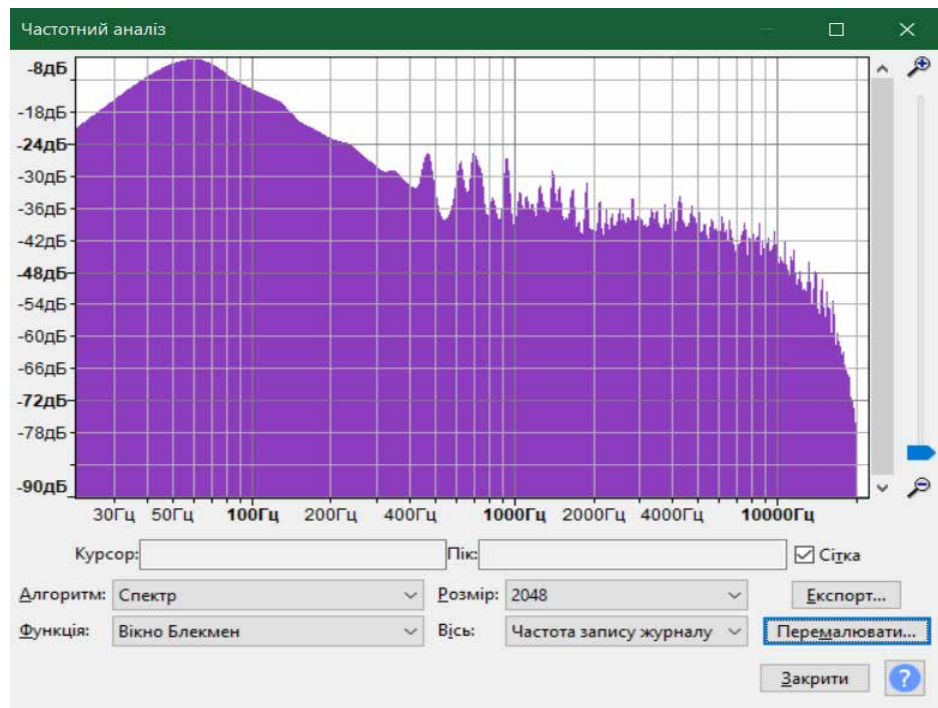


Рисунок 3.10. Спектрограма уривку аудіозапису водоспад Вікторія

Останнім із вибірки є аудіозапис водоспаду Вікторія (рис 3.10). Даний аудіосигнал є білим шумом. Якщо існував би ідеальний білий шум у природі, то спектральні складові мали рівномірне розподілення по всьому діапазону частот. З даної спектрограми можна побачити, що є зміни рівнів, проте не дуже суттєві на всій смузі частот. Можна сказати, що тут домінують середні частоти, порівняно з іншими.

Які висновки можна зробити із вище розглянутих питань? По-перше дані аудіозаписи є широко розповсюджені музикальними терапевтами у країнах заходу. Вони добавляють їх у відповідності до завдань які потрібно вирішити. Для прикладу: стабілізувати психо-емоційний стан, покращити самопочуття, зменшити прояви і напади тривоги та багато іншого.

По-друге наведені музикальні композиції не мають тексту, тільки саму музику. В нашому випадку 3 композиції відносяться до жанру електронної музики, яка в свою чергу розподілена на під жанри. Оскільки даний напрям музики є відносно молодим, тому по сьогоднішній день проходять дослідження її впливу.

По-третє такі композиції як When We Left Arkaim, L6 Echo, Do It Now можна відмітити по спектрограмі приналежність до групи сигналів із домінуючими низькими частотами. Людвиг Ван Бетховен – Symphony No. 5 in C minor зарахуємо до групи СЧ, разом з аудіозаписом водоспаду Вікторія. Сьогодні музикальні композиції мають переважно низькі та середні частоти, це пов'язано з тим, що там міститься вокал і акомпанемент (в нашому випадку вокал відсутній). Високі частоти зазвичай містять мало нот, це необхідно для її збалансування, щоб композиція звучала органічно і не було негативних вражень під час прослуховування.

3.5. Вплив творів різних музичних жанрів на електричну активність головного мозку

В експерименті приймали участь 23 особи, з яких 9 були чоловіками та 14 жінками. Особи що приймали участь у дослідженні, були розподілені за віком: 19 (2), 20 (1), 23 (3), 24 (4), 25 (3), 26 (4), 27 (1) та 28 (5), загалом середній вік складав 24,7 років. Ті хто приймали участь у випробуванні належали до різних етнічних груп. Раніше була взята інформація на рахунок музичної освіти у осіб, а саме з'ясувалося що 17 із 23 осіб раніше мали музичне навчання (наприклад, гра на інструменті, спів у хорі тощо).

Осіб просили уникати кофеїну, тютюну та всіх інших психоактивних хімічних речовин, принаймні не пізніше ніж 6 годин до початку дослідження. Суб'єктам рекомендувалося в обов'язковому порядку відпочити належним чином і не мати захворювань, що могли вплинути на дослідження і безпеку оточуючих. В ході самого дослідження лише один пацієнт повідомив, що засинав під час музичної послідовності.

Дев'ятнадцять електродів ЕЕГ було встановлено за стандартною міжнародною системою «10 - 20%» з монополярним відведенням, відповідно вимогам.

Кожен випробуваний брав участь приблизно 1 годину, під час якого вони

прослуховували перемішані у випадковому порядку музичні композиції в навушниках. Всього композицій 5, в таблиці 2 наведений їх перелік. Музика що використовувалась в цьому дослідженні, була у високоякісному цифровому форматі MP3.

На очі була одягнена пов'язка, щоб особи які приймали участь у випробовуванні могли тримати очі відкритими протягом усього музичного циклу. Дії з пов'язкою необхідні для досягнення стану розслабленості і комфорту, за для більш якісних результатів дослідження ЕЕГ.

Дані ЕЕГ також були згруповані за ділянками кори головного мозку, при цьому усереднюючи отримані відсотки від окремих відведень, що відповідають кожній ділянці кори (наприклад, дані від Fp1, Fp2, Fz та інші відведення були усереднено для генерування значення “фронтальної області” для кожної пісні). Окремі півкулі не вивчались ізольовано, тому не було на меті проводити їх порівняння.

Дане дослідження проводилось із суворим дотриманням усіх чинних місцевих та міжнародних законів та необхідних стандартів.

Для кращого розуміння і більшої інформативності в загальному плані, інформація ЕЕГ була згрупована за ділянками кори головного мозку, при цьому проводилось усереднення відсотків від окремих відведень, які відповідають певній ділянці кори.

Спочатку виміри проводилися в стані спокою для фіксування нормальної головної активності, потім виміри проводилися безпосередньо під час прослуховування композицій. Результати наведені на Рисунку 3.11 наглядно демонструють в усереднених відсотках, порівняно із станом спокою, домінантних частот у діапазоні альфа-, бета-, тета-, дельта-ритмів на різних ділянках кори головного мозку.

	Класична	Tribal	Psytrance	Goa	Водоспад
<i>Beta</i>					
Лобна	↓ 10.37 %	9.57 %	9.60 %	10.52 %	10.17 %
Тім'яна	↓ 8.18 %	7.88 %	7.85 %	8.45 %	8.22 %
Потилична	↓ 7.54 %	7.08 %	6.96 %	7.16 %	6.78 %
Скронева	↓ 8.89 %	8.55 %	8.08 %	8.73 %	9.59 %
<i>Alpha</i>					
Лобна	↑ 30.58 %	29.69 %	29.34 %	28.39 %	31.97 %
Тім'яна	↑ 52.97 %	52.07 %	49.82 %	50.97 %	53.65 %
Потилична	↑ 57.44 %	56.19 %	55.56 %	57.90 %	63.07 %
Скронева	↑ 33.45 %	32.59 %	32.07 %	31.88 %	32.91 %
<i>Theta</i>					
Лобна	↑ 12.70 %	12.79 %	13.62 %	12.88 %	12.94 %
Тім'яна	↑ 11.55 %	12.18 %	13.13 %	11.26 %	10.60 %
Потилична	↑ 10.15 %	11.61 %	12.11 %	10.35 %	8.55 %
Скронева	↑ 12.21 %	12.41 %	13.36 %	11.70 %	11.37 %
<i>Delta</i>					
Лобна	↑ 14.32 %	15.19 %	16.12 %	15.03 %	13.84 %
Тім'яна	↑ 10.05 %	10.41 %	12.10 %	10.75 %	9.27 %
Потилична	↑ 9.09 %	10.17 %	10.83 %	9.68 %	7.62 %
Скронева	↑ 14.51 %	14.28 %	15.78 %	14.38 %	13.75 %

Рисунок 3.11. Середнє значення у відсотках, для бета, альфа, тета та дельта-хвиль музичних творів, розглянутих у табл. 2 [15]

Діаграма зміни середнього відношення відсотків бета-ритмів порівняно із станом спокою для раніше обраних музичних композицій представлений на рис 3.12. Діаграма на рис. 3.17 наглядно демонструє зниження відносного відсотка бета-частоти. Зниження бета-частоти спостерігається під час прослуховування всіх музичних композицій. Найбільше зниження реєструється в лобній та тім'яній ділянці під час прослуховування Goalien – Do It Now (жанр Goa Trance), а в скроневої від аудіозапису водоспада Вікторія (білий шум). Також найбільше зниження в потиличній ділянці відмічено при слуханні Людвиг Ван Бетховен - Symphony No. 5 in C minor. Як видно, композицій призвели до зниження бета-частоти, проте це зниження є різним відносно ділянок кори, а це означає що головний мозок по різному реагує.

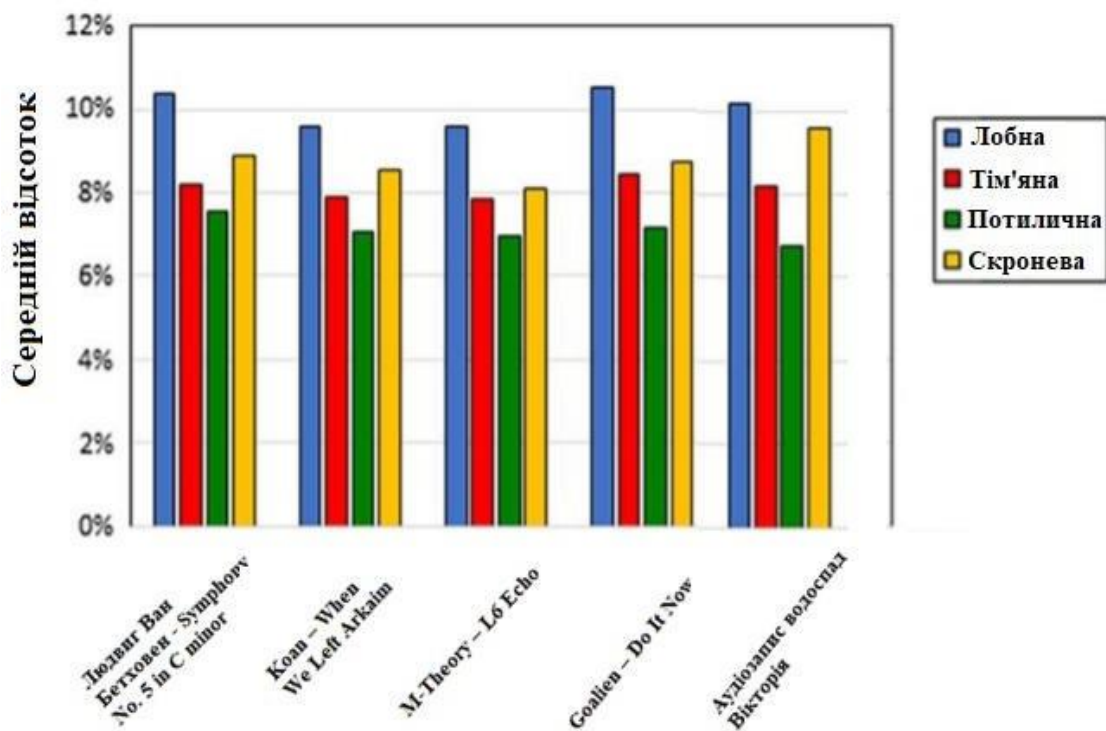


Рис. 3.12 Середнє відношення у відсотках бета-хвиль для різних ділянок кори [15]

Враховуючи, що зниження бета-частот коркової активності головного мозку спостерігається на етапах глибокого сну, ці результати підтверджують схожість виникнення стану, що нагадує фазу глибокого сну, проте на відмінно від цього слухач не спить. Це свідчать про те, що різні музичні жанрів з їхніми типовими композиціями, можуть вплинути на центральну нервову систему і призводить до змін активності кори головного мозку.

На рис. 3.13 показано у відсотках збільшення альфа-частот порівняно із станом спокою. Найбільше збільшення відбулося в потиличній зоні, саме під час прослуховування аудіо запису водоспаду Вікторія, також по іншим ділянкам кори, можна помітити перевагу саме білого шуму, окрім скроневої. Композиція Людвиг Ван Бетховен - Symphony No. 5 in C minor, призвела до найбільшого зростання порівняно із іншим аудиосигналами в скроневої ділянці. Інші композиції, також привели до значного зростання альфа- частоти. Саме збільшення альфа активності демонструє посилення стану розслабленості і покращення самопочуття.

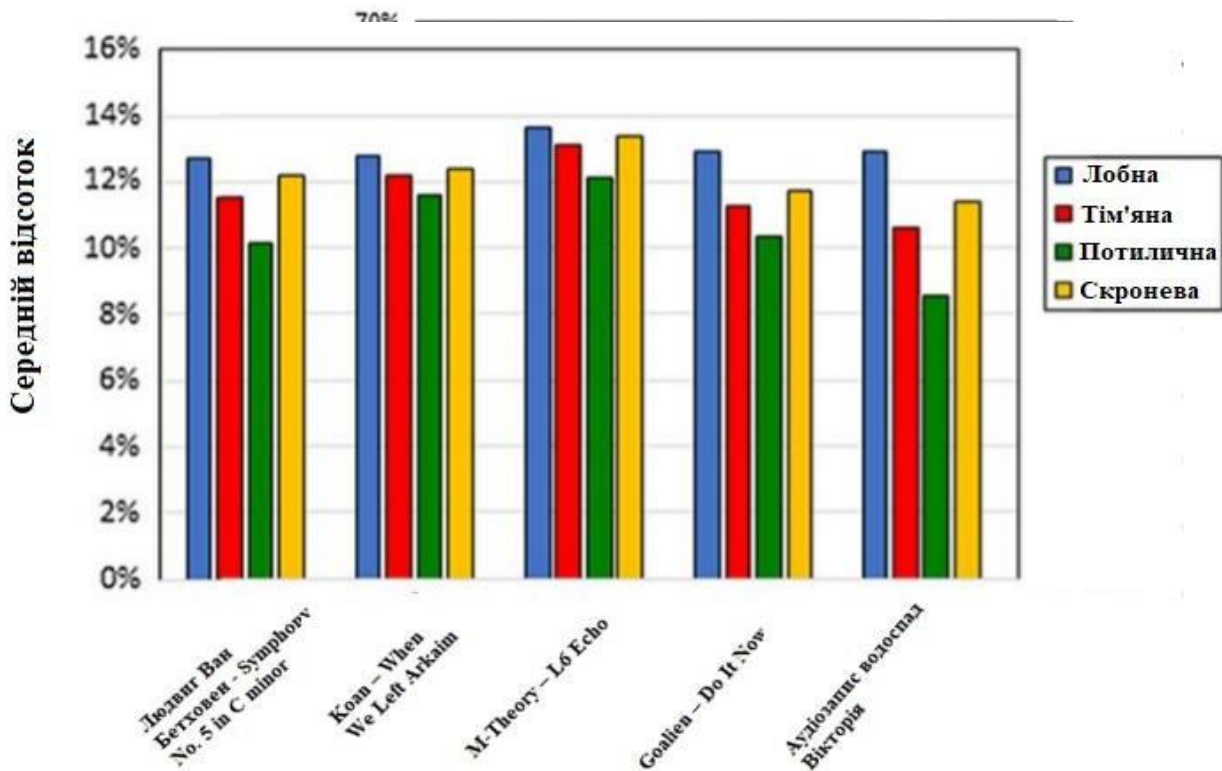


Рисунок 3.13. Середнє відношення у відсотках альфа-хвиль для різних ділянок кори [15]

На рис. 3.14 показано збільшення тета-частоти в усередненому відсотковому значенні. Найсильніше збільшення отримано при прослуховуванні M-Theory – L6 Echo, що відноситься до під жанру Psytrance. Koan – When We Left Arkaim та Людвиг Ван Бетховен - Symphony No. 5 in C minor також демонстрували значне підвищення. Такий вплив композиції M-Theory – L6 Echo може бути пов'язаний з його унікальною структурою ритму, що не мають інші музичні композиції. Хоча у Goalien – Do It Now не вистачає унікальної ритмічної структури, яка є в M-Theory – L6 Echo, але в іншому випадку вони є дуже схожими.

Вдалося виявляти зв'язок із збільшенням відносного відсотка частоти тета-ритму порівняно з вивченими музичними композиціями. Подібні підвищена активність тета-частоти пов'язана із стадіями які фіксуються під час глибокого сну, це підтверджує той факт, що данні композиції використовуються в музичній терапії.

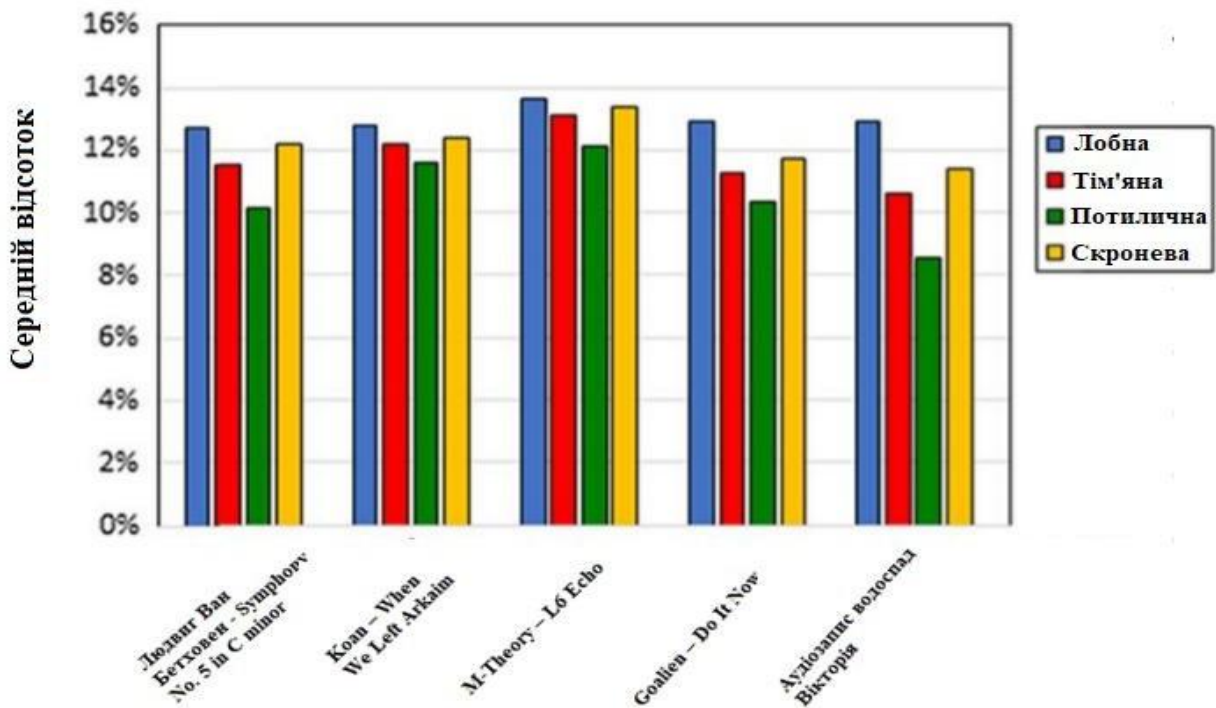


Рис. 3.14 Середнє відношення у відсотках тета-хвиль для різних ділянок кори [15]

На рисунку 3.15 показано збільшення відносного відсотка дельта- ритму, як і тета-ритм найсильніше пов'язано з композицією M-Theory – L6 Echo в окремих ділянках кори.

При прослуховуванні твору Goalien – Do It No також спостерігається найбільша після M-Theory – L6 Echo, підвищення відносного відсотку дельта-частот. Інші твори також призвели до підвищення, проте в меншій мірі. [15]

Раніше на рис. 3.8 та рис. 3.9 де зображені спектрограми цих творів, дає можливість змогу переконатися в тому, що композиції M-Theory – L6 Echo та Goalien – Do It No, мають схожість. Необхідно врахувати, що подібне підвищення частоти дельта-активності, також спостерігається із глибокою стадією сну, що вказує на відновлювальні та лікувальні властивості.

Висновки

Були розглянуті композиції, що використовуються в музикотерапії. Для детального дослідження було обрано 3 жанри, серед яких класична та електронна музика (розглянуто три піджанри), а також білий шум.

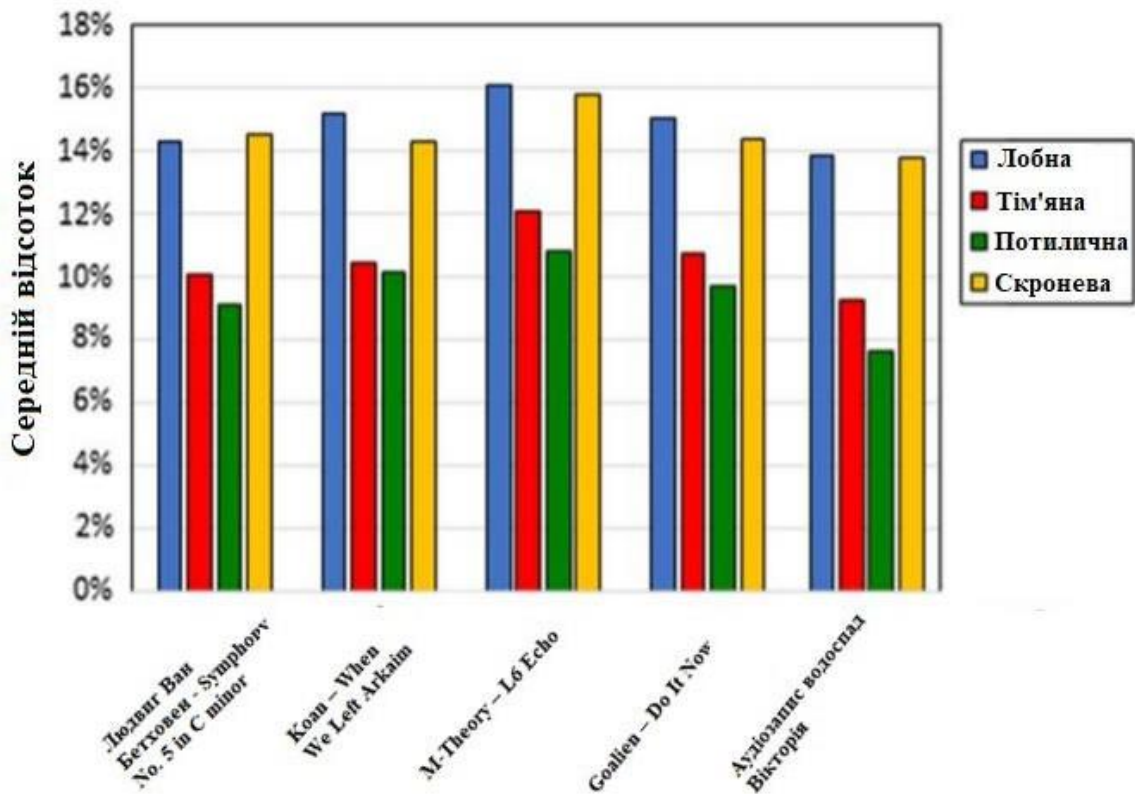


Рисунок 3.15. Середнє відношення у відсотках дельта-риму для різних ділянок кори [15]

Спектральний аналіз, проведений в аудіоредакторі Audacity 3.0.2, показав, що всі розглянуті твори піджанрів електронної музики – Tribal Downtempo, Psychedelic Trance (Психотранс) та Goa Trance відносяться до НЧ групи. Класична композиція відноситься до СЧ і умовно до цієї групи можна віднести шум водоспаду. На спектрограмах таких композицій як M-Theory – L6 Echo та Goalien – Do It No, помітна схожість, оскільки Psychedelic Trance та Goa Trance є дуже схожими піджанрами, що і було наглядно продемонстровано їхніми спектрограмами.

Дослідження по впливу музичних композицій різних жанрів проводилося за допомогою електроенцефалографа, де приймала участь 23 особи, метод накладання електродів «10 - 20%» з моно полярним відведенням. Спочатку проводилися вимірювання в стані спокою, пізніше під час прослуховування раніше обраних композицій у випадковій послідовності. Результати в стані спокою та під час впливу композицій, були усереднені. Аудіозапис водоспаду

Вікторія викликає зменшення відносного відсотка бета-ритму, тоді як представники під жанру Psytrance, Goa Trance та Tribal Downtempo також мали значний вплив. Білий шум призводить до більш значного зростання відносного відсотка альфа-частот, порівняно із іншими музичними творами. Psytrance найсильніше призводив до збільшенням відносного відсотка тета-частот, тоді як Tribal Downtempo та класична музика мали порівняно менший вплив. Psytrance також призвів до збільшенням відносного відсотка дельта-частот, тоді як Goa Trance, що є дуже схожим під жанром, призводив до впливу проте в меншій мірі.

Найнижчий відносний відсоток бета-ритмів та найвищий відносний відсоток альфа-ритмів у всіх музичних жанрах спостерігався в потиличній та тім'яній областях. Найбільший відносний відсоток тета- та дельта-частот у всіх музичних жанрах та під жанрах у фронтальній та часовій областях.

Результати цього дослідження підтверджують вплив музики на організм людини. Подібні зміни, що реєстрував електроенцефалограф є подібними до фаз глибокого сну, проте піддослідний перебуває у стані неспання. Можна зробити припущення, що прослуховування цих композицій сприяє процесам відновлення організму, покращення психо-емоційного стану та змінам в мозковій активності кори головного мозку. Крім того, висновки цього дослідження свідчать про те, що певні музичні жанри можуть мати більш міцну пов'язаність із цими змінами в мозковій активності ніж інші музичні жанри.

РОЗДІЛ 4

СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ РЕЗОНАНСІВ МОВЛЕННЄВОГО ТА СЛУХОВОГО ТРАКТІВ ЛЮДИНИ

4.1. Постановка експерименту

Акустична теорія резонансів голосних звуків (формант), головним стимулом для розвитку якої служило створення синтезаторів мови, має довгу історію і їй присвячені монографії [34]. Було, зокрема, встановлено, що частотні положення формант, залежні головним чином від передавальної функції мовленнєвого тракту, мають тісний статистичний взаємозв'язок, що характеризується коефіцієнтом взаємної кореляції. Резонанси ж слухового тракту спеціально не досліджувалися, внаслідок чого і кореляція між резонансними частотами слухового і мовного трактів не розглядалася. Про стан досліджень слухового тракту у людини можна судити хоч би по тому, що параметри його елементів приводяться без вказівки на те, до чоловічого або жіночого вуха вони відносяться. Створення математичної моделі та отримання формули для параметра норми середнього вуха людини дозволило провести дослідження резонансів слухового і мовленнєвого трактів.

Метою цього розділу є визначення першої і другої парціальних частот середнього вуха [35,36], їх взаємозв'язки з формантними частотами голосних звуків «а» і «у», і спектральними максимумами сигналів викликані отоакустичної емісії вуха людини в нормі. Отримані в подальшому дані є корисними, адже буква «а», і відповідно звук «а», є найпоширенішою буквою у світі і зустрічається в усіх алфавітах. Звуки «у» та «а» є голосними однієї сім'ї, саме тому доцільно вивчати їх одночасно. Характерною фізичною особливістю голосних звуків є те, що вони відрізняються порівняно великою інтенсивністю і тривалістю звучання (0.1 - 0.3 с), дискретним спектром і формантною структурою, що огинає спектр. Спектри голосних звуків «а» і «у» досліджувалися за допомогою ПК із зовнішньою звуковою платою та професійним мікрофоном Audio- Technica ATR35s ємнісного типу, і прикладних

програм.

Для виявлення взаємозв'язку формантних частот голосних звуків «а» і «у» чоловічого і жіночого голосу з резонансними частотами середнього вуха людини було зроблено експериментальне дослідження спектрів голосних звуків жіночого, дитячого, і чоловічого голосів при різних умовах, за допомогою ПК і прикладного пакету Sound Forge. Тривимірні спектри були отримані за допомогою пакету SpectraLab. По отриманим графікам були визначені формантні частоти голосних звуків «а» і «у» для чоловічого і жіночого голосу. Результати аналізу графіків приведені в табл. 4.1 - 4.2. Порівнявши отримані дані зі значеннями парціальних частот середнього вуха видно, що перша парціальна частота близька за значенням з першою формантною частотою звуку «а» як для чоловічого, так і для жіночого голосу, і з другою формантною частотою звуку «у» для чоловічого голосу.

Таблиця 4.1 - Формантні частоти звуків «а» і «у» для жіночого голосу

№ п/п	Частота основного тону, Гц	Формантні частоти, Гц		
		f_1	f_2	f_3
А				
1	260	776	1036	2585
2	271	819	1103	2760
3	268	808	1076	2695
4	255	754	1009	2735
5	269	754	1023	2775
У				
1	295	280	575	2816
2	292	269	561	2989
3	310	291	601	2965
4	308	280	588	2880
5	313	302	615	2729

Проте слід обумовити, що при розрахунку першої парціальної частоти немає вказівок про те, що приведені значення маси слухових кісточок і барабанної перетинки відносяться до чоловічого або жіночого вуха. За даними отриманими вище, за допомогою трьохчастотного тимпанометра (226, 660, 1000 Гц), резонансна частота середнього вуха чоловіка дорівнює 700 Гц, а жінки – 1000 Гц. З урахуванням цього можна уточнити, що перша парціальна частота близька за значенням з першою формантною частотою звуку «а» для чоловічого, і другою для жіночого.

Таблиця 4.2 - Формантні частоти звуків «а» і «у» для чоловічого голосу

№ п/п	Частота основного тону, Гц	Формантні частоти, Гц		
		f_1	f_2	f_3
А				
1	120	582	1056	2695
2	113	689	1130	2742
3	127	689	1030	2722
4	116	679	1023	2709
5	120	582	1063	2441
У				
1	122	366	708	2575
2	138	269	675	2448
3	141	280	668	2508
4	138	269	775	2548
5	135	259	775	2515

Усереднивши приведені вище дані отримаємо наступний результат (табл.3.3). Частоти третьої форманти звуків «а» і «у» близькі до другої парціальної частоти середнього вуха людини. Також слід зазначити, що частоти третьої форманти звуків «а» і «у» практично рівні, і залежності від статі піддослідного не виявлено.

4.2. Дослідження сигналів ВОАЕ

Для виявлення взаємозв'язку парціальних частот середнього вуха людини з резонансними частотами сигналів ВОАЕ був проведений спектральний аналіз сигналів ВОАЕ за допомогою прикладного пакету MatLAB.

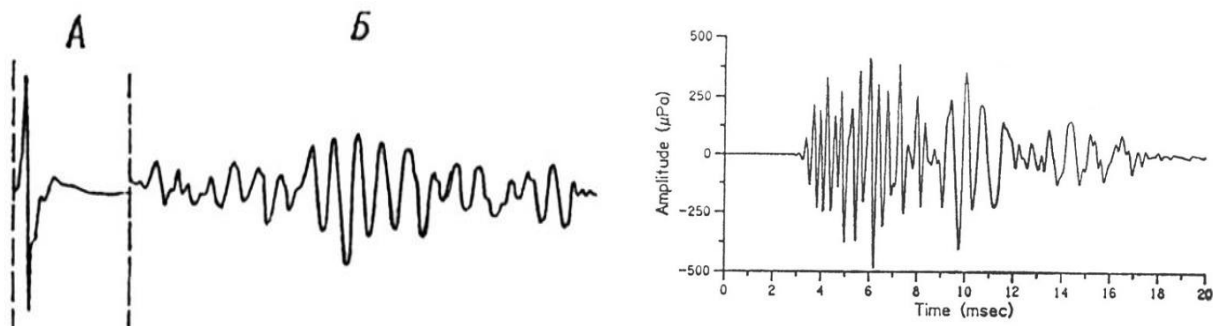
Таблиця 4.3 – Усереднені дані по формантним частотам

Голосні	Частота основного тону, Гц	Формантні частоти, Гц		
		f_1	f_2	f_3
<i>Жіночий голос</i>				
А	265	780	1050	2710
У	305	285	590	2875
<i>Чоловічий голос</i>				
А	120	645	1060	2660
У	135	290	720	2520

Досліджувалися сигнали ВОАЕ у відповідь на стимул у вигляді клацання і тональних посилок з різними частотами. На рис.3.1 представлені приклади ВОАЕ у відповідь на широкосмугові клацання у піддослідних з нормальним слухом. При розгляді спектрів приведених сигналів (рис.3.2,а,б) можна помітити, що частота максимуму спектру сигналу ВОАЕ співпадає з частотою максимуму спектру стимулу і відповідає значенню $2f_{\text{ш}}$. На спектрі представленому на рис.3.2,в частота другого максимуму відповідає другій парціальній частоті середнього вуха людини.

Також досліджувалися сигнали ВОАЕ у відповідь на тональні послілки рівнем 50 дБ (рис.4.3). На цих рисунках А позначені форми стимулів, Б - форми відповідей. Відповіді збільшені в порівнянні із стимулами в 32 рази.

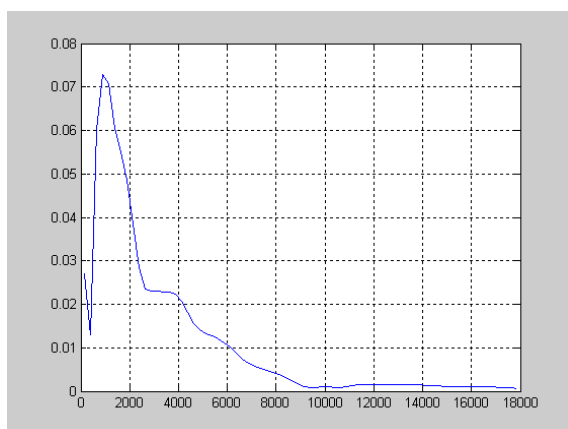
На рис.4.4 приведені спектри сигналів ВОАЕ у відповідь на тональні послілки з частотами заповнення відповідно до 1500, 2000, 3000, 4000 і 6000Гц.



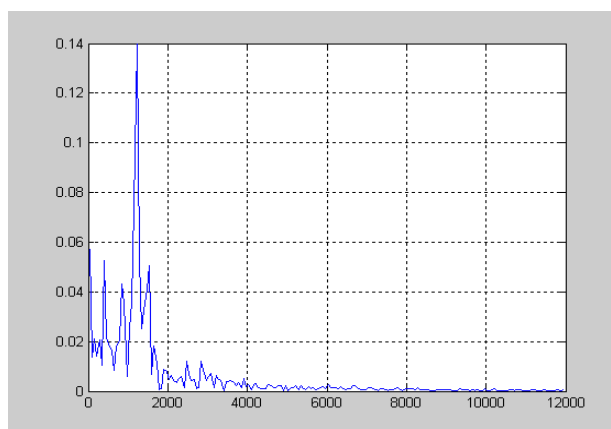
(a)

(б)

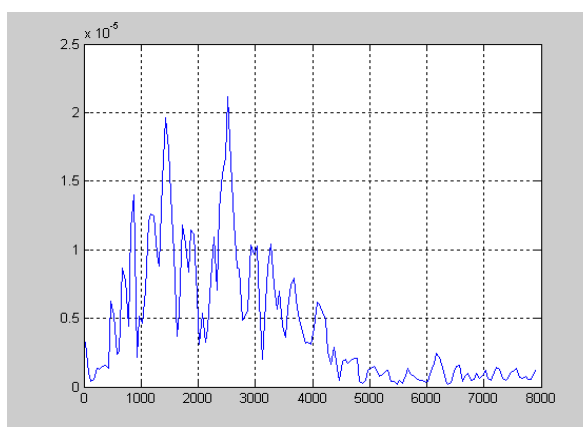
Рисунок 4.1 – (а) - ВОАЕ правого вуха піддослідного з нормальним слухом, вік 22 роки, у відповідь на широкосмугове клацання: А - форма клацання, Б - форма відповіді (відповідь збільшена в порівнянні із стимулом в 32 рази); (б) - форма сигналу у відповідь на клацання тривалістю 80 мкс і інтенсивністю 40 дБ, що обмежене частотами 400 - 5000 Гц



(a)



(б)



(в)

Рисунок 4.2 - Спектри сигналів, які представлені на рис.3.1

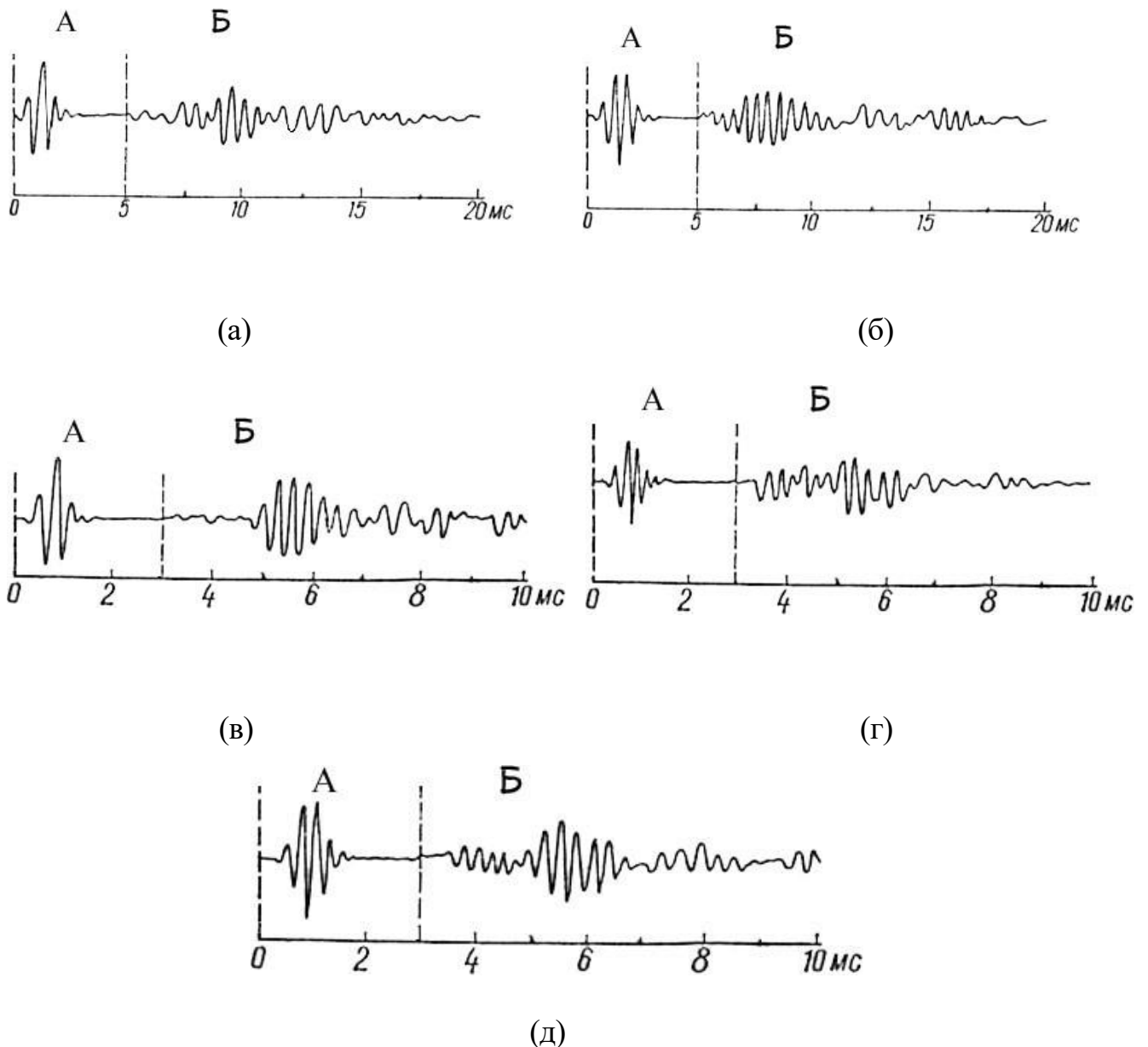
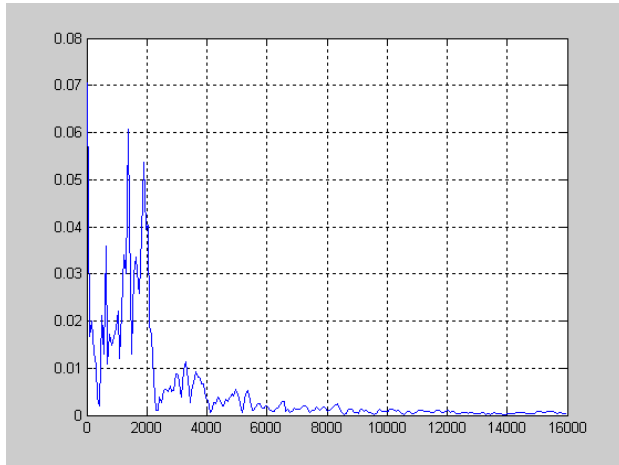
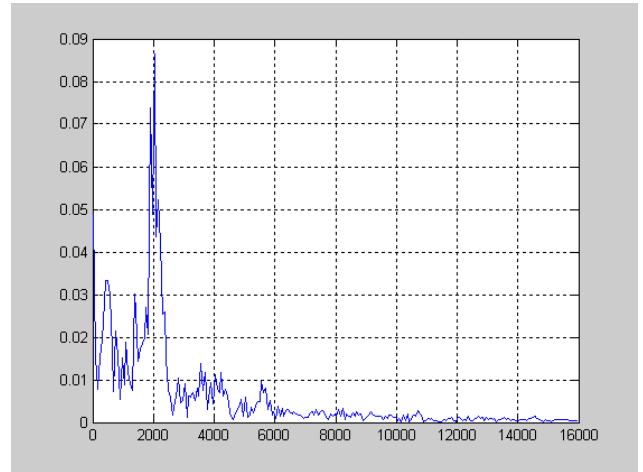


Рисунок 4.3 - Сигнали ВОАЕ у відповідь на тональні посилки рівнем 50 дБ з частотами заповнення: (а) - 1500 Гц; (б) - 2000 Гц; (в) - 3000 Гц; (г) - 4000 Гц; (д) - 6000 Гц

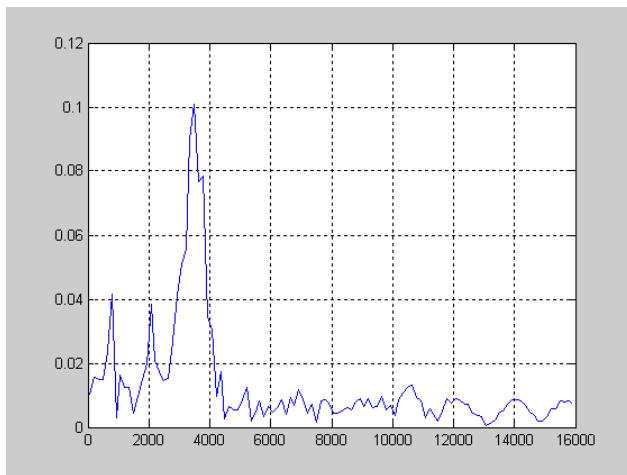
Проаналізувавши спектри на рис.3.4 можна зробити висновки, що доки частота заповнення стимулу не перевищує 2000 Гц, максимум спектру відгуку співпадає з частотою заповнення стимулу. Проте, при частотах заповнення стимулу, близьких до другої парціальної частоти середнього вуха людини, і вище, максимум спектру сигналу ВОАЕ дорівнює другій парціальній частоті.



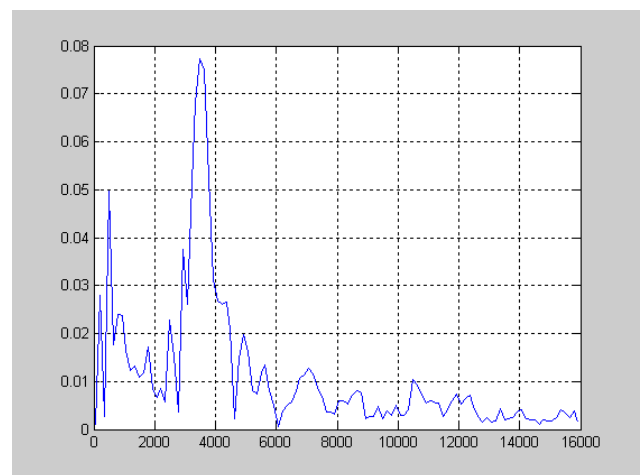
(a)



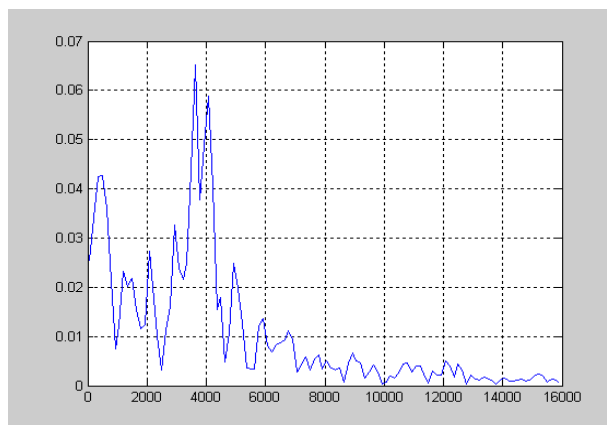
(б)



(в)



(г)



(д)

Рисунок 4.4 - Спектри сигналів ВОАЕ у відповідь на тональні посилки з частотами, що відповідають рис.3.3

4.3. Дослідження спектральних характеристик звуків «а» і «у» за допомогою прикладного пакету SoundForge

Можливості прикладного пакету Sound Forge

Sound Forge є професійною програмою для редагування звуку, що включає великий набір процесів, ефектів і інструментів (пакетний перетворювач - спектральний аналіз - автоматичне виділення ділянки - редактор установок - статистика - простий синтез та ін.) для маніпулювання аудіоданими. Sound Forge працює приблизно з 20 форматами. На рис.3.5 показана основна панель, спектр сигналу і записаний сигнал.

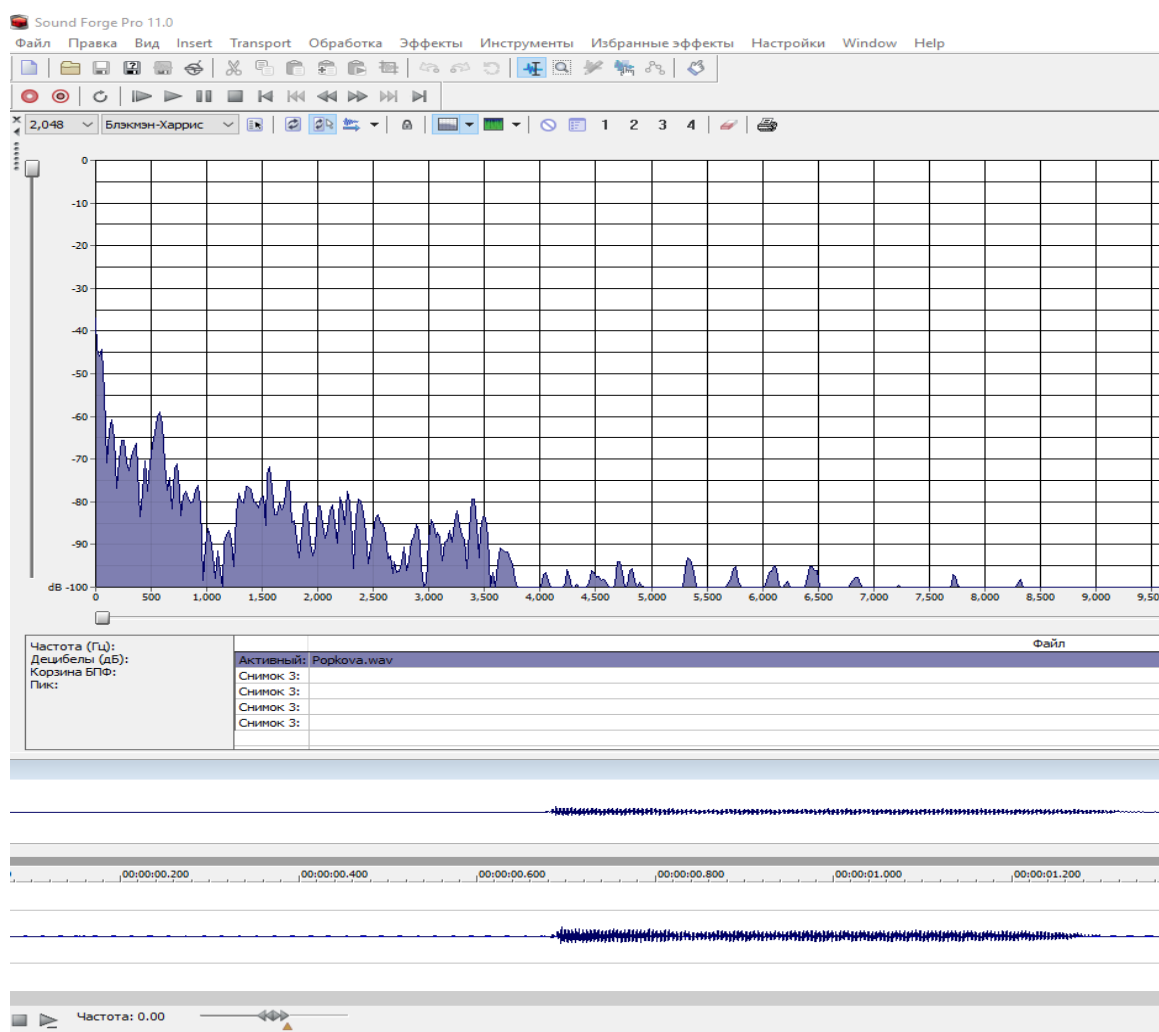


Рисунок 4.5 - Основна панель: спектр сигналу (зверху) і записаний сигнал (знизу)

Параметри виставляємо на: Sample Size - 16-bit, і Sample Rate - 44100Гц. Для отримання спектральної характеристики записаного сигналу на лінійці

інструментів натискаємо Tools/Spectrum Analysis і отриманий результат бачимо на рис.3.6 і рис.3.7 для звуку «а» тривалістю 0.5 секунди, на рис.3.8 і рис.3.9 для звуку «а» тривалістю 1 секунда; на рис.3.10 і рис.3.11 для звуку «у» тривалістю 0.5 секунди, на рис.3.12 і 3.13 для звуку «у» тривалістю 1 секунда.

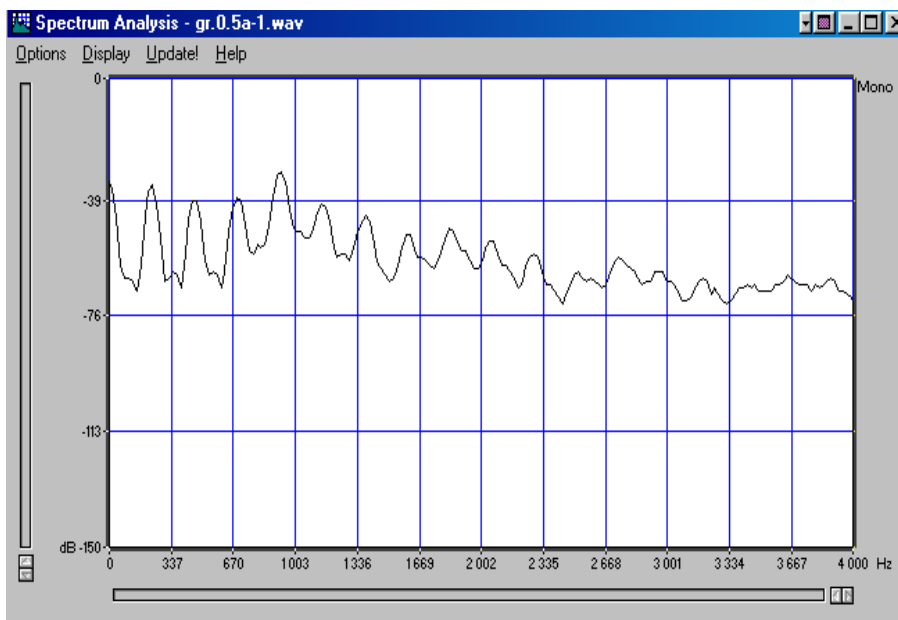
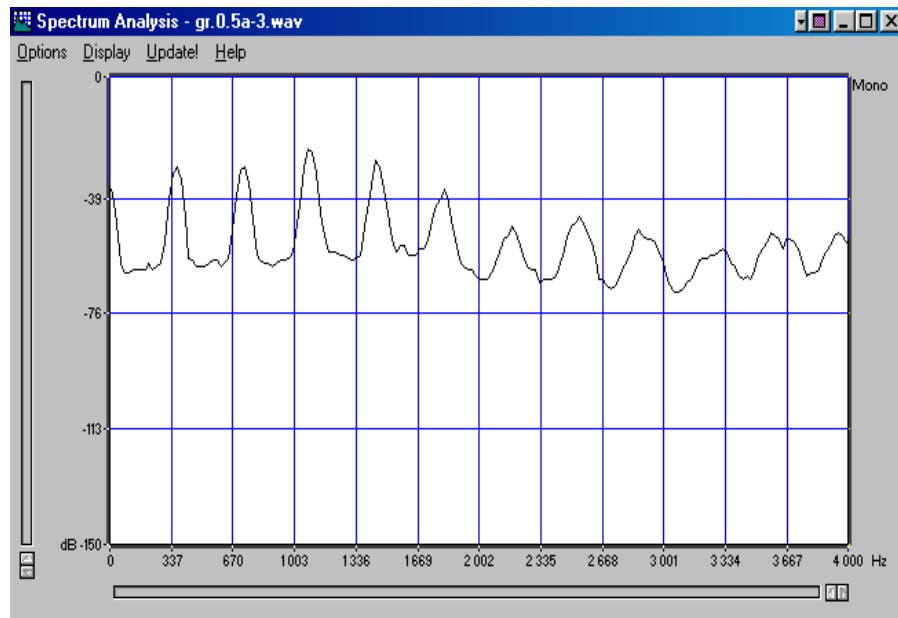


Рисунок 4.6 - Звук «а» тривалістю тривалістю 0.5 с (матері), 0.5 с (дочки)

Результати, отримані за допомогою прикладного пакету Sound Forge

Звуки "а" і "у" записувалися з різною тривалістю -0.5с. та 1с., тихим, нормальним, гучним голосом, а також був зроблений запис голосом після фізичного навантаження (25 присідань і 20 стрибків). Отримані формантні частоти приведені в табл. 4.4. *Дослідження спектральних характеристик звуків «а» і «у» за допомогою прикладного пакету Matlab*

Для отримання 3-х вимірних зображень спектрів «а» і «у» був застосований пакет "Matlab". На рис. 3.14 – 3.21 представлені 3-х мірні графіки.

Таблиця 4.4 – Таблиця отриманих результатів

Для 0.5 сек.														
Ім'я	Звук	№ дослід у	з фізичним навантаженням			гучно			нормально			тихо		
			f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
МАТИ	а	1	454	1107	2699	688	1142	2285	623	1061	2559	688	1074	2559
		2	450	1183	2693	670	1113	2256	623	1037	2448	688	1063	2571
		3	443	1090	2670	670	1131	2278	699	1078	2583	676	1062	2588
	у	1	227	676	2553	250	511	2285	215	623	2483	215	629	2408
		2	227	655	2518	262	513	2338	215	618	2478	215	629	2454
		3	239	664	2502	262	518	2251	215	635	2349	215	650	2443
ДОЧКА	а	1				664	979	2626	594	1183	2402	734	1084	2571
		2				699	1061	2683	599	1183	2396	758	1026	2443
		3				699	1078	2636	583	1183	2482	752	1062	2479
	у	1				495	1014	2559	320	668	2420	329	635	2443
		2				507	1032	2618	297	623	2524	326	641	2433
		3				448	903	2640	303	625	2437	332	653	2489
Для 1 сек.														
Ім'я	Звук	№ дослід у	з фізичним навантаженням			гучно			нормально			тихо		
			f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3	f_1	f_2	f_3
МАТИ	а	1	688	1142	2285	699	1166	2565	693	1143	2539	641	1074	2559
		2	688	1160	2291	693	1160	2530	693	1154	2530	658	1072	2552
		3	670	1125	2233	682	1137	2513	699	1142	2478	664	1090	2588
	у	1	239	717	2419	262	542	2360	221	625	2472	221	641	2303
		2	221	682	2472	262	542	2400	215	629	2495	215	641	2425
		3	250	775	2419	262	542	2367	215	641	2495	215	653	2443
ДОЧКА	а	1				716	1124	2495	595	1184	2361	833	1265	2518
		2				717	1084	2543	571	1160	2320	856	1228	2590
		3				752	1113	2500	583	1166	2338	852	1119	2570
	у	1				419	845	2577	279	585	2497	454	903	2634
		2				402	810	2454	297	612	2489	419	874	2588
		3				390	781	2455	291	612	2501	419	839	2699

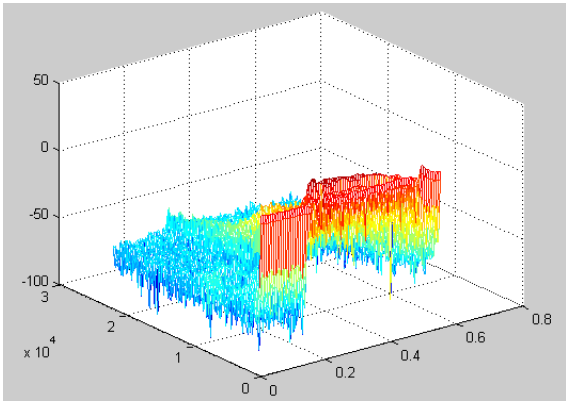


Рисунок 4.14 - Звук «а» тривалістю 0.5 с (матері)

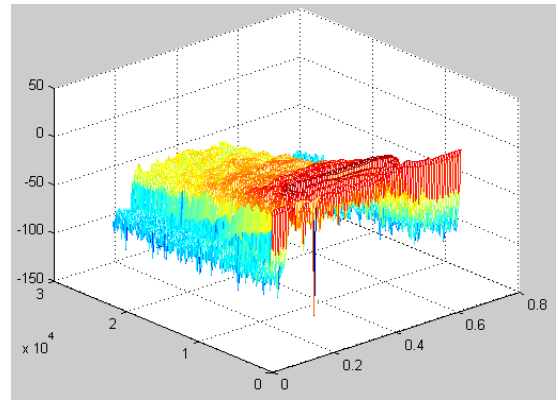


Рисунок 4.15 Звук «а» тривалістю 0.5 с (дочки)

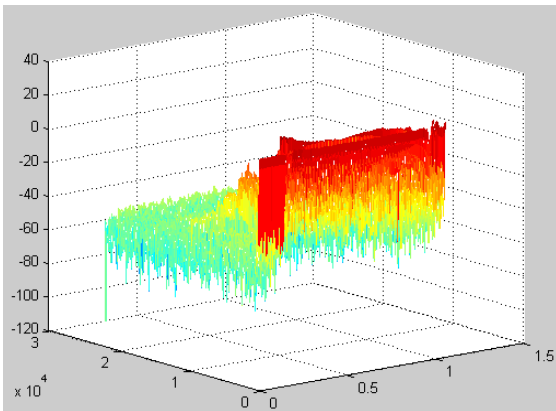


Рисунок 4.16 - Звук «а» тривалістю 1 с (матері)

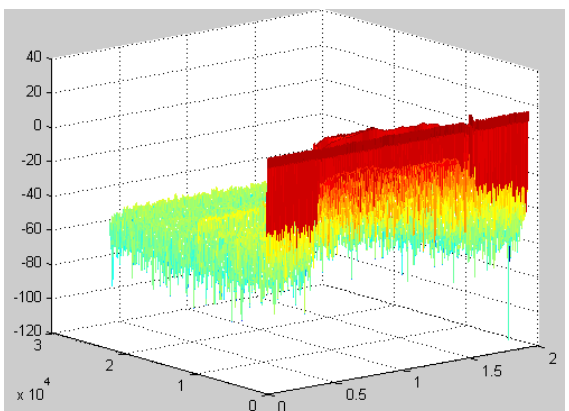


Рисунок 4.17 Звук «а» тривалістю 1 с (дочки)

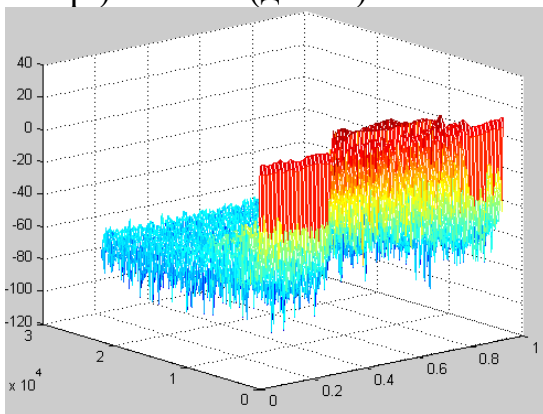


Рисунок 4.18 - Звук «у» тривалістю 0.5 с (матері)

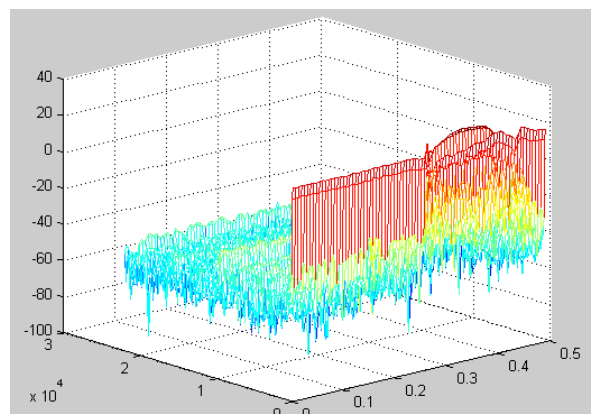


Рисунок 4.19 Звук «у» тривалістю 0.5 с (дочки)

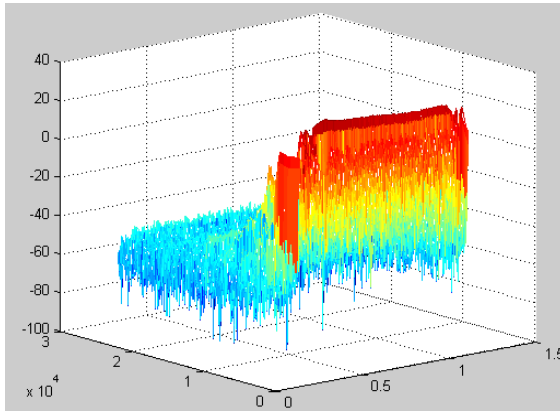


Рисунок 4.20 - Звук «а» тривалістю тривалістю 1 с (матері)

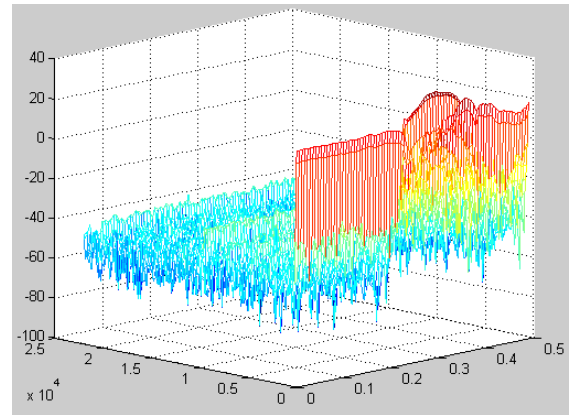


Рисунок 4.21 - Звук «а» 1 с (дочки)

Висновки

В даному розділі був проведений формантний аналіз голосних звуків «а» і «у» жіночого і дитячого голосів, за допомогою експериментального дослідження спектру голосних однієї сім'ї.

Було встановлено, що резонансна частота середнього вуха в нормі близька до частоти найбільш виступаючої форманти звуку «а» : другої (≈ 1000 Гц) у жінок і дітей; спадковою ознакою мови у жінок є друга форманта звуку «а» по лінії матері; частота третьої форманти звуків «а», «у» (≈ 2600 Гц) відповідає парціальній частоті коливальної системи барабанна порожнина - слухова труба, і не залежить від статі людини.

Також в розділі був проведений спектральний аналіз сигналів викликаних отоакустичною емісією, на основі якого встановлено, що слухова система людини відкликається на резонансних частотах середнього вуха, а не обумовлена лише внутрішнім вухом.

Дані висновки можуть бути використані при підборі музичних композицій для досліджень.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ СУКУПНОГО ВПЛИВУ СТРЕСОВОГО ФАКТОРУ ТА МУЗИЧНОГО СИГНАЛУ НА ПСИХОФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ

На сьогоднішній день актуальним напрямком в психоакустиці є застосування акустичних впливів з метою корекції фізіологічного, функціонального або психологічного стану людини [37], [38]. 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 [39]–[40]. 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) [41].

Альфа-ритм максимально виражений в задніх (потиличних) відведеннях при закритих очах. Альфа-хвилі пов'язані з умінням людини розслаблятися, 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-центральных 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 [41], 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 [41].

Як у людей, так і у гризунів, фронтальні δ - та θ - ритми пов'язані з когнітивним контролем та організацією цілеспрямованої діяльності. Часом зміни δ -ритму пов'язані з різними захворюваннями мозку. Міжпівкульна та лобно-тім'яна δ -синхронізація зменшується у пацієнтів із легкою хворобою Альцгеймера та судинною деменцією. [42]

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 неуважністю, непритомністю, або навіть сном у цій частині мозку. Докази, що підтверджують цю гіпотезу, походять із досліджень дельфінів, тюленів та птахів, які показують присутній у всій півкулі ритмічний дельта ритм та її (півкулі) перебування у стані повільного сну, тоді як інші відділи мозку знаходяться в активованому 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 [43].

5.1. Постановка проблеми

В попередніх дослідженнях, 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 неспання 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 [44]. Значні навчальні навантаження, які пов'язані з великою кількістю завдань з різних видів дисциплін, серйозні емоційні переживання, необхідність обробки великого обсягу інформації викликають значне нервово напруження у студентів [45], [46]. На сьогодні окремою категорією виділяють таке поняття як екзаменаційний стрес[47].

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[48], [49], й об'єктивні, що включають дослідження шкірно-гальванічної реакції, ЕЕГ та фотоплетизмограм [50]. Поширені дослідження по вивченню впливу музичних творів на рівень стресу [51], [52], [53]. Зокрема, в [51] 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 [52] 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 [53] за оцінкою альфа-ритму вивчали вплив музики на короткотривалий стрес, який створювали учасникам дослідження безпосередньо під час проведення експерименту. Праці [49] і [54] присвячені спробі класифікувати стрес на підставі аналізу ЕЕГ. В них показано, що в якості можливого біомаркери довготривалого стресу можна розглядати асиметрію альфа- і бета-ритмів. В статті стрес [46] 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 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 δ -ритму у загальну потужність енцефалограми – тобто чим вище відсоток, тим вище рівень стресу.

Дослідження проводилися на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України "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, скроневиими по міжнародній системі "10-20" (Рис. 4.1).

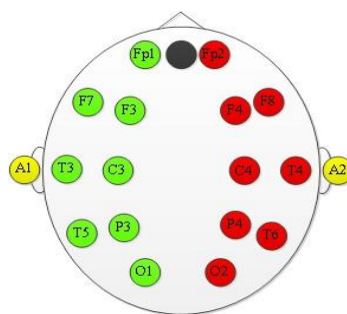


Рисунок 5.1. Схема розміщення електродів

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).

ШПФ-аналіз

Частотні границі	Тривалість епохи:	Початкові дані для ШПФ
Нижня: 1,0 Гц	2000 мсек	<input checked="" type="radio"/> фільтрована ЕЕГ
Верхня: 30,0 Гц	Відсоток перекриття:	<input type="radio"/> нативна ЕЕГ
Крок: 0,50 Гц	50	Величина, що аналізується
		<input checked="" type="radio"/> Потужність
		<input type="radio"/> Амплітуда

Вікно даних

Прямокутне ППФ

Дискретно-часова функція:

Амплітуда

Відліки

Рисунок 5.2. Налаштування програми обробки результатів для проведення швидкого перетворення Фур'є

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 подразнень. 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. 4.2).

Для математичної обробки ЕЕГ застосовували методи цифрової фільтрації та спектрального аналізу на безартефактних ділянках ЕЕГ (артефакти були видалені із досліджуваних записів на етапі первинної обробки результатів класичним методом[55]), записаної протягом наступних часових періодів: однієї хвилини

перед початком музичного впливу, протягом хвилини прослуховування музики, та після закінчення акустичного фрагменту тишу тривалістю одну хвилину.

Статистичний аналіз отриманих даних проводився 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 [56] та наведені на Рис.5.3 – головні піки сигналу якої знаходяться на 35 та 46 герцах.

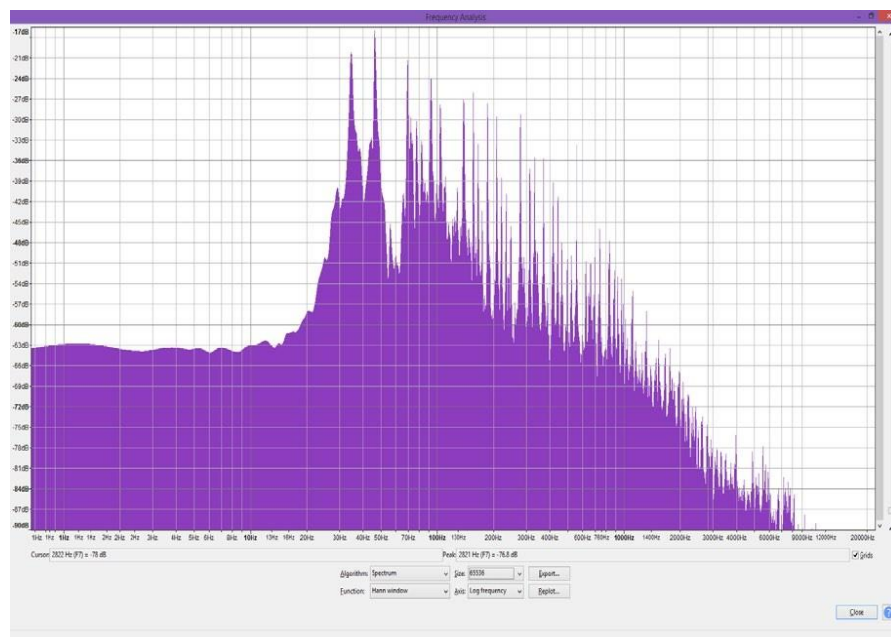


Рисунок 5.3. Спектрограма фрагменту композиції On Demon Wings гурту Bohren & der Club of Gore

Для аналізу використовували дані ЕЕГ, усереднені по певним групам відведень та показники для кожного відведення (Табл.4.1), 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.

Таблиця 5.1. 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
Права	P4
Ліва	O1
Права	O2
Ліва	Fp1, F3, F7, T3, T5, C3, P3, O1
Права	Fp2, F4, F8, T4, T6, C4, P4, O2

5.2. Результати

Результати, отримані у періоди до та під час дії стресового фактору, представлені у Табл.4.2, де наведені середнє значення відсоткового внеску δ -ритму у повну потужність по двох півкулях, отримані значення параметрів Z та p , що визначають присутність статистично значимої різниці між рівнями вкладу δ -ритму у відсотковому відношенні до сумарної потужності за різними критеріями (на першій та третій хвилині експерименту та до та під час впливу стресового фактору) для тестових груп (групи містять по 7 вимірів). При цьому у роботі параметр α (граничне значення рівня значимості) прийнято рівним 0,05, а параметр p визначає наявність або відсутність різниці між досліджуваними вибірками – якщо

його значення нижче 0,05, то нульова гіпотеза відхиляється, тобто наявні розбіжності є статистично значимими. Можливість застосування вибірок такого об'єму показана у [57]. За допомогою непараметричного тесту Уїлкоксона [58] було визначено наявність чи відсутність статистично значимої різниці між підгрупами [59]:

$$Z = \frac{U - m_w}{\sigma_w} \quad (4.1)$$

У формулі (4.1) складові m_w та σ_w мають наступний вигляд:

$$m_w = \frac{n(n+1)}{4} \quad (4.2)$$

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}} \quad (4.3)$$

У приведених формулах(4.1)-(4.3): 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 δ -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”. 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”.

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 порівняних груп немає статистично значимої різниці.

Таблиця 5.2. Результати експерименту до та під час дії стресового фактору

Тестова група	Номер порівняльної групи	Тест Уїлкоксона		
		Середнє значення відсоткового внеску δ -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		

Для наочності порівняння даних отриманих до та під час стресового фактору результати представлені у вигляді графіків (Рис.5.4-Рис.5.11).

При аналізі Рис.5.4 (порівняльна група 1, що має різницю між середніми значеннями для груп 7,11 відсоткових пунктів) та Рис. 5.5 (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.

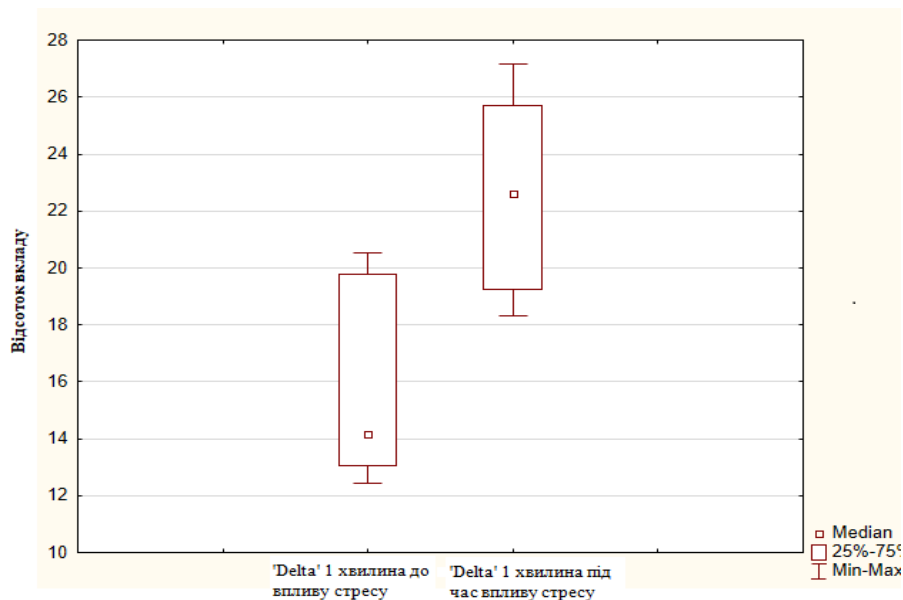


Рисунок 5.4. Результати, отримані до та під час впливу стресу на 1 хвилині експерименту (ліва півкуля) – перша група

Статистично значима різниця між тестовими групами присутня у обох порівняльних групах. Цей результат був отриманий до початку впливу музичного сигналу.

Результати, зображені у вигляді графіків на Рис.4.6 (порівняльна група 3, що має різницю між середніми значеннями для груп 10,4 відсоткових пунктів) і Рис.4.7 (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.

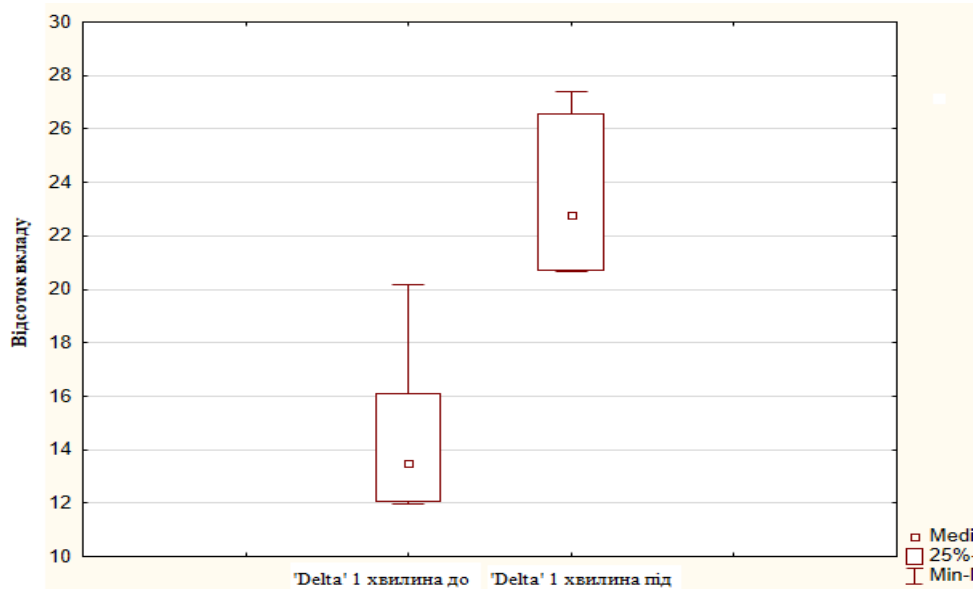


Рисунок 5.5. Результати, отримані до та під час впливу стресу на 1 хвилині експерименту (права півкуля)

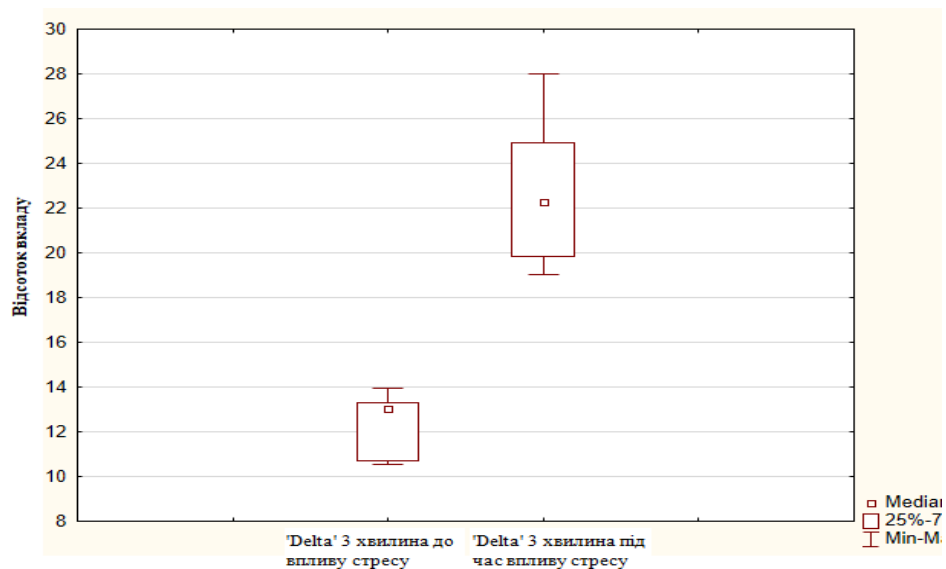


Рисунок 5.6. Результати, отримані до та під час дії стресового фактору на 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

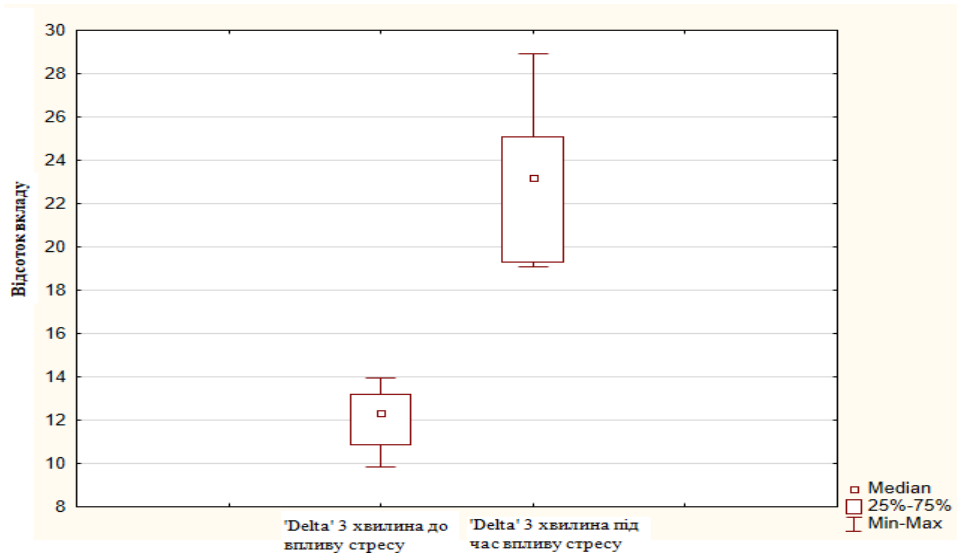


Рисунок 5.7. Результати отримані до та під час дії стресового фактору на 3 хвилині експерименту (права півкуля)

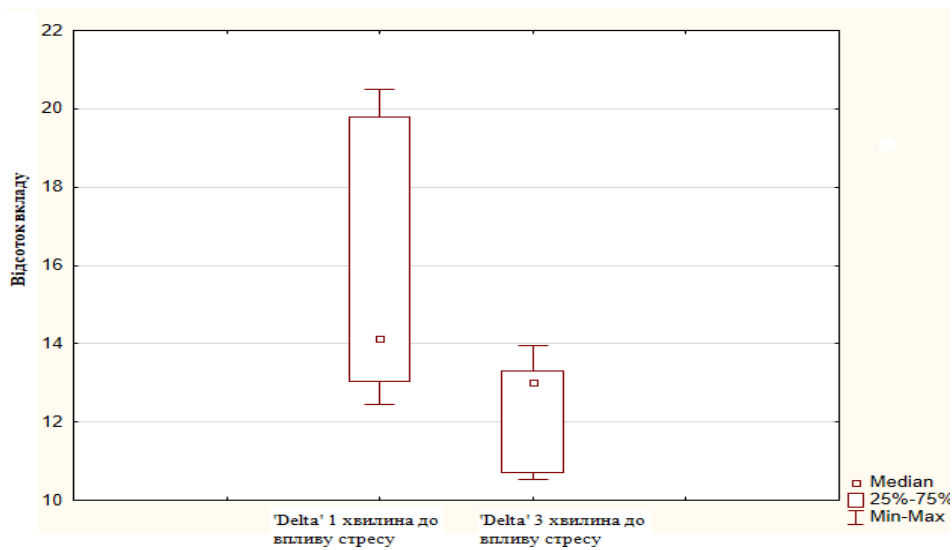


Рисунок 5.8. Результати, отримані до дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

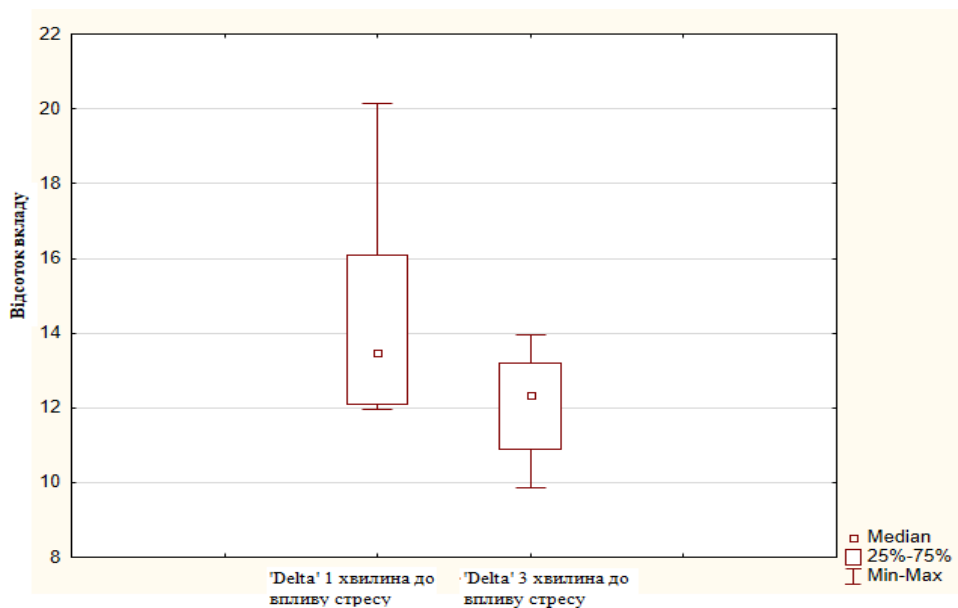


Рисунок 5.9. Результати отримані до дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (права півкуля)

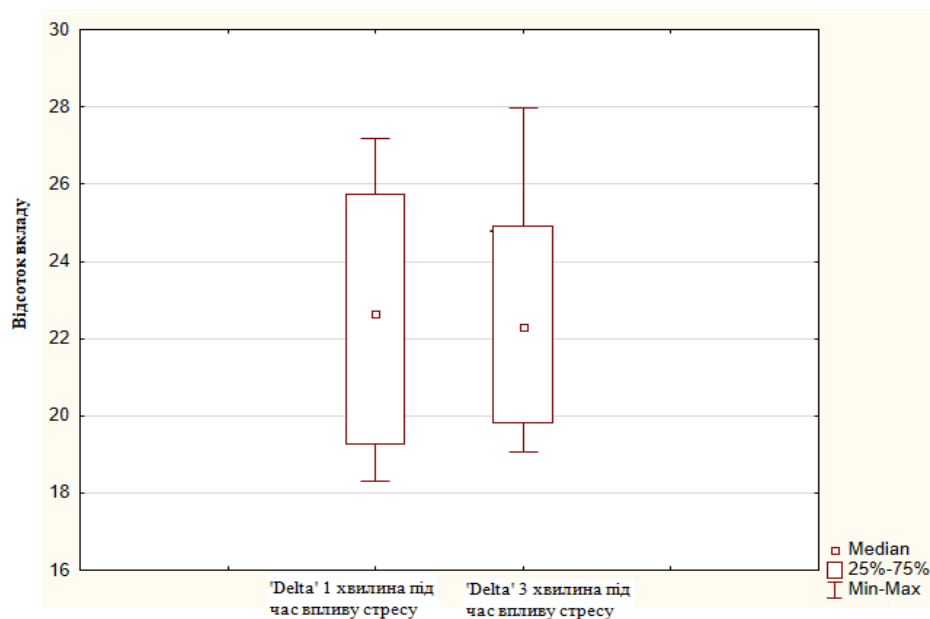


Рисунок 5.10. Результати отримані під час дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (ліва півкуля)

Аналіз експериментальних даних, представлених на Рис.4.8 (порівняльна група 5, що має різницю між середніми значеннями для груп 2,97 відсоткових

пунктів) та Рис.4.9 (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 напруження знижується, що є результатом впливу низькочастотного акустичного сигналу, тобто спостерігається бажаний терапевтичний ефект. Статистично значима різниця спостерігається для двох порівняльних груп.

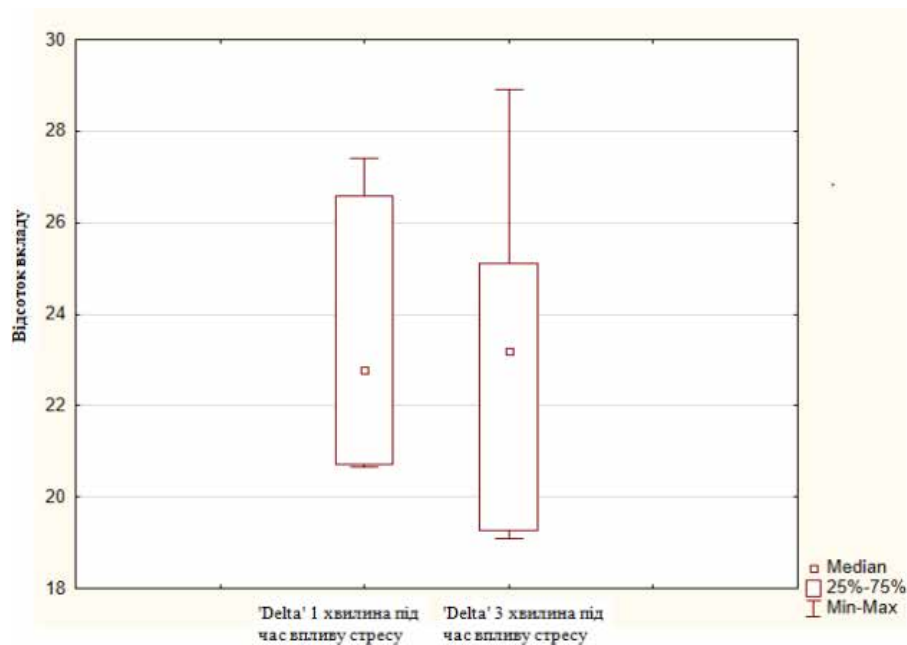


Рисунок 5.11. Результати, отримані під час дії стресового фактору на 1 та 3 хвилині експерименту (права півкуля)

При аналізі результатів, наведених на Рис.4.10 (порівняльна група 7, що має різницю між середніми значеннями для груп 0,32 відсоткових пункти) та Рис.4.11 (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.

5.3. Структура апаратно-програмного комплексу.

Результати аналізу свідчать про чітко виражену реакцію головного мозку

людини на обрані стимули. Оскільки в даних композиціях переважають середні частоти, можна сказати про підтвердження результатів попередніх досліджень.

Після проведення дослідження, на основі отриманих даних було прийнято рішення про необхідність більш детального аналізу вкладу α ритму (рис. 3, в) на 1,7%, 0,73% та 3,59% для кожного з досліджуваних відповідно; при прослуховуванні п'ятого стимулу відбувалося зменшення влади α ритму (рис. 3, характеристик впливу і створення відповідного програмно апаратного комплексу. На рисунку 5.12. зображено структурну схему роботи програмно-апаратного комплексу.



Рисунок 5.12 – Структурна схема розробленого комплексу

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

фоновій 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. [60]

Для запису ЕЕГ використовувався програмно-апаратний комплекс «ЕкспертТМ» компанії Tredex – 16-ти каналний телеметричний електроенцефалограф.

Запис даних проводився при стандартній схемі розміщення електродів за міжнародною системою «10 – 20» [14], біполярна реєстрація відбувалася за

допомогою 16 референтних електродів зі швидкістю 30 мм/с. Для дослідження використовувалися навушники «Panasonic RP-NJE118GU-K» та плеєр «iRiver T9 4GB». В дослідженні використовувалося 5 музичних композицій з різними частотними характеристиками. Для аналізу спектрального складу аудіосигналів було використано швидке перетворення Фур'є [15]. Аналіз обраних звукових стимулів проводився за допомогою програмного пакету MATLAB 2018 [16].

Для програмної реалізації фільтрації звукового стимулу в заданому діапазоні частот, а також аналізу отриманих аудіостимулів було використано середовище MATLAB 2018.

ВИСНОВКИ

В ході роботи був проведений огляд найпоширеніших методик для нейрофізіологічної корекції – адаптивного біокерування зі зворотнім зв'язком (Neurofeedback) та музичної терапії. Адаптивне біокерування є прогресуючим методом нейрофізіологічної корекції, основна роль якого усвідомлене управління внутрішніми органами, системами і функціями організму людини. Другий більш поширеним є музична терапія, що використовує музику як інструмент в рамках терапевтичного взаємодії, метою якого є задоволення фізичних, емоційних, когнітивних потреб людини.

В розділі 2 розглядався аналіз електричної активності головного мозку та методи її реєстрації. Було розглянуто основні принципи електроенцефалографії. Наведено перелік типів електроенцефалографів, що виробляються і застосовуються в залежності від спеціальних завдань. Проведено порівняння двох пристроїв для реєстрації ЕЕГ. Розглянуто основні ритми головного мозку та методи накладання електродів для їх реєстрації. З'ясували, що методи математичного аналізу є важливими складовими аналізу електроенцефалограми.

Було обрано 5 композицій, що представляють собою 3 окремих жанри в музиці. Композиції належали до класичної та електронної музики (де в свою чергу було обрано твори 3 різних піджанрів) і білого шуму, саме ці жанри і під жанри використовуються в музикальній терапії. Побудовано спектрограми для аналізу обраних музичних. Проведено дослідження їх впливу на електроенцефалограму людини. Результати впливу на електроенцефалограмі мають схожість із глибокою фазою сну, проте людина перебуває під час експерименту в стані неспання. Це дозволяє зробити припущення про лікувально-відновлювальні властивості даних композицій, що і підтверджує факт їхнього використання у музичній терапії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Peniston E.G., Kulkosky P.J. Neurofeedback in the treatment of addictive disorders. //In: Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback. Eds.: Evans J.R. & Abarbanel A., 1999, Academic Press, p. 157-179.
2. Савельєва-Кулик О. О. Музична терапія в інтегративній медицині / О. О. Савельєва-Кулик. – Київ: «Інтерсервіс», 2014. – 137 с
3. Mazer S.E. Music, Noise, and the Environment of Care: History, Theory, and Practice // Music and Medicine. – 2010. – № 2. – P -191.
4. Що треба знати про епілепсію [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://moz.gov.ua/article/health/scho-treba-znati-pro-epilepsiju-i-jak-nadati-pershu-dopomogu>
5. Бригадир М.Б. Особливості функціонування мозку людини [Електронний ресурс] / М. Б. Бригадир М.Б. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvkhp_2016_2%281%29_5
6. Чернінський А. О., Крижановський С. А., Зима І. Г. Електрофізіологія головного мозку людини: методичні рекомендації до практикуму – К.: Видавець В. С. Мартинюк, 2011. – 49 с
7. Teplan M. Fundamentals of EEG measurement [Електронний ресурс] / Teplan. – 2002. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/228599963_Fundamental_of_EEG_Measurement
8. Вимірювання електроенцефалограми [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: http://kafvp.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/09/%D0%9B%D0%90%D0%91%D0%9E%D0%A0%D0%90%D0%A2%D0%9E%D0%A0%D0%9D%D0%90_%D0%A0%D0%9E%D0%91%D0%9E%D0%A2%D0%90_4_%D0%92%D0%98%D0%9C%D0%86%D0%A0%D0%AE%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%9D%D0%AF.pdf
9. Neurophysiological effects of various music genres on electroencephalographic cerebral cortex activity [Електронний ресурс] / H. R. Abraham,

N. Z. Sarah, M. Xu, J. Aldag // *Journal of Psychedelic Studies*. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://akjournals.com/view/journals/2054/aop/article-10.1556-2054.2019.027/article-10.1556-2054.2019.027.xml>

10. Коломієць Р. О. Отримання та обробка біосигналів / Р. О. Коломієць, Т. М. Нікітчук, Д. С. Морозов. – Житомир, 2017. – 232 с.

11. D. Kučikienė and R. Praninskienė, “The impact of music on the bioelectrical oscillations of the brain”, *Acta medica Litu.*, vol. 25, no. 2, pp. 101–106, 2018, doi: 10.6001/actamedica.v25i2.3763.

12. M. G. Gallego and J. G. García, “Music therapy and Alzheimer’s disease: Cognitive, psychological, and behavioural effects”, *Neurología*, vol. 32, no. 5, pp. 300–308, 2017, doi: 10.1016/j.nrl.2015.12.003.

13. 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.

14. А. О. Чернінський, С. А. Крижановський, І. Г. Зима, “Електрофізіологія головного мозку людини: методичні рекомендації до практики”, Київ: В. С. Мартинюк, 2011.

15. T. Harmony, “The functional significance of delta oscillations in cognitive processing”, *Front. Integr. Neurosci.*, vol. 7, p. 83, 2013, doi: 10.3389/fnint.2013.00083.

16. 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, 2019, doi: 10.1093/cercor/bhx310.

17. 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, 2015, doi: 10.1152/jn.00249.2015.

18. Г. М. Дубчак, “Особливості проявів стресових станів сучасних

студентів закладів вищої та професійної освіти” , Психологія особистості, вип. 10, № 1, С. 74–80, 2019, doi:10.15330/ps.10.1.74-80.

19. 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

20. В. М. Богуш “Особливості прояву екзаменаційного стресу у студентів ДВНЗ”, Молодий вчений, т.9, № 1, С. 1–4, 2017, [Online]. Available: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2017/9.1/1.pdf>.

21. 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

22. 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.

23. 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.

24. 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.combiomed.2019.02.015.

25. S. Chaudhuri, “THE EFFECTS OF MUSIC ON STRESS”, Int. J. Adv. Res. INENGINEERING Technol., vol. 9, no. 2, pp. 524–538, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.21474%2Fijar01%2F12478>.

26. 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. 1bo+, May 2020.

