

ЗВ'ЯЗОК КОГНІТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ β -РИТМА ПІД ВПЛИВОМ АУДІО СТИМУЛІВ РІЗНОГО КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ

Калашнікова Л. Є., доц. к.б.н.

doc_hom2000@yahoo.com

Овчаренко Г. Р., ас.каф.

ilikanet@ukr.net

Александрова К. О., студент

kasbk@ukr.net

Факультет біомедичної інженерії

Національний технічний університет

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

м. Київ, Україна

Реферат – Одним з видів стимуляції розумової активності є прослуховування музики. На даний час у літературі відсутні відомості про залежність біоелектричної активності головного мозку в залежності від амплітудно – частотних характеристик звукового сигналу. Для аналізу ефективності музичної стимуляції розумової активності досліджували взаємозв'язок між коефіцієнтом концентрації уваги та електричною активністю мозку. Спектральний аналіз пікових частотних складових β та α -ритму ЕЕГ та дослідження просторового розподілу спектральної цільної потужності ЕЕГ свідчить про залежність електричних характеристик мозку від амплітудно частотних характеристик звукового сигналу. Встановлено, що музичні уривки з переважанням низькочастотного діапазону визивають підвищення спектральної цільності потужності α -ритму ЕЕГ. Музичні уривки з переважанням середніх частот визивають підвищення спектральної цільності потужності β -ритму ЕЕГ. Дослідження виявило наявність оберненої залежності між динамікою вкладів β -ритмів та коефіцієнтом концентрації уваги. Вклади α -ритму змінювались прямо пропорційно до зміни коефіцієнту концентрації уваги

Ключові слова – спектр частот, частотна характеристика, електроенцефалограма, спектральна цільність потужності, неокортекс, ритми ЕЕГ, електрична активність мозку, звукові коливання, коефіцієнт концентрації уваги, IBM SPSS Statistics.

I. Вступ

Відновлення когнітивної сфери психічної діяльності є однією з головних задач лікувально-реабілітаційних заходів. Одним із засобів впливу на психіку і фізіологію людини є музика. За останні десятиліття роботи багатьох авторів свідчать, про широкий спектр впливу музики на когнітивну діяльність людини [1, 2]. Показниками зміни функціонального навантаження на неокортекс людини служать зміни біоелектричної активності мозку [3].

На даний час у літературі відсутні дані про залежність змін показників когнітивної функції людини від спектральних характеристик звукових сигналів. З другого боку важливо дослідити взаємозв'язок змін параметрів цент-

ральних механізмів з когнітивними функціями під впливом звукових стимулів [6].

Таким чином важливо визначити, які характеристики звукового сигналу спричиняють зміни біоелектричної активності мозку.

II. Мета дослідження

Кількісна оцінка взаємозв'язку між частотними характеристиками електричної активності головного мозку та зміни коефіцієнту концентрації уваги (КУ) під впливом звукових стимулів.

III. Матеріали досліджень

Дослідження проводилося в спеціально підготовленому (безлунному), приміщенні, який мав низькі показники часу реверберації. У дослідженні брали участь 35 добровольців віком

від 20 до 23 років. Відбір добровольців відповідав правилам та нормам біоетики, що регламентовані міжнародними документами. Всі досліджувані були праворукими, без вад слуху, неврологічних захворювань та не мали спеціальної музичної освіти. Кожний музичний уривок прослуховувався одним обстежуваним 3 рази.

Для запису ЕЕГ та попереднього аналізу використовувався апаратно-програмний комплекс електроенцефалограф 16-ти каналний телеметричний «ЕкспертТМ» компанії Tredex. Вплив аудіосигналом реалізувався за допомогою вакуумних навушників «Razer Hammerhead Pro» та плеєра «San disk Sansa clip +».

Для зняття ЕЕГ використовувалась система 10–20 з монополярною комутацією та референтним електродом, локалізованим по сагітальній лінії голови, вище лобних відведень при стандартній схемі відведень [7].

В дослідженні було використано п'ять музичних композицій з різними частотними характеристиками. Для аналізу спектрального складу аудіо сигналів застосовували швидке перетворення Фур'є [8]. Виконання аналізу проводилось з використанням пакету прикладних програм для числового аналізу MATLAB [9].

Для статистичного аналізу використовувалась програма IBM SPSS Statistics [10].

В першу чергу проводилась перевірка на відповідність нормальному розподілу за допомогою критерію Колмогорова-Смирнова [11]. Перевірка на достовірність для вибірок які підкоряються нормальному розподілу проводилась за допомогою критерію Стьюдента [11]. Для вибірок з ненормальним розподілом було використано критерій Манна-Уїтні [11].

Для визначення коефіцієнту уваги (КУ) проводили тест Бурдона [12]. Методика дозволяє оцінити здатність утримувати увагу. За результатами тесту розраховувалось відношення коефіцієнту КУ після прослуховування звукової доріжки до коефіцієнту КУ перед прослуховуванням.

IV. Результати та обговорення

В роботі було досліджено вплив п'яти музичних композицій на електричну активність мозку. Для кожної музичної проведено амплітудно-частотний аналіз. У спектрі було виділено найбільш критичні частоти. Всі обрані частоти було розділено на три групи: низькі (НЧ), середні (СЧ) та високі частоти (ВЧ). Для низь-

ких характерні частоти порядку від 20 Гц до 300 Гц, для середніх – від 300 Гц до 3 кГц, а для високих від 3 кГц до 20 кГц відповідно до діапазону частот, що сприймаються людським вухом.

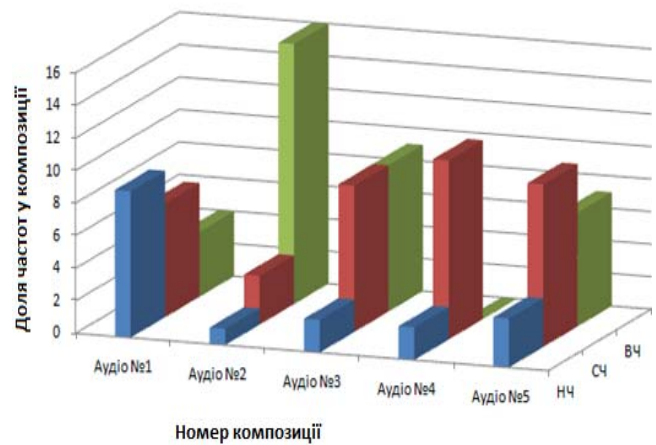


Рис. 1. Переважаючі частотні діапазони для кожної композиції

Основуючись на спектральному аналізу звукових композицій, який проводився за допомогою пакету прикладних програм для числового аналізу MATLAB були визначені частотні діапазони кожного музичного уривку. У таблиці 1 наведено розподіл частот у аудіо сигналі.

Таблиця 1. Розподіл частот у аудіо сигналах

Номер композиції	Переважаючі частоти	Діапазон
№1	низькі частоти	34 – 330 Гц
№2	високі частоти	3700 – 16500 Гц
№3	середні та високі частоти	330 – 9960 Гц
№4	середні частоти	370 – 2300 Гц
№5	середні частоти	360 – 2600 Гц

В роботі було досліджено вплив обраних звукових композицій на зміни біоелектричної активності мозку. Результати свідчать, що під впливом прослуховування музики відбувалися зміни у вкладах ритмів. Зміни характеристик активності мозку під впливом аудіо сигналів внесено до таблиці 2.

Таблиця 2. Зміни вкладів ритмів під впливом аудіо сигналів

Номер композиції	Ритми, що підвищувались	Зміна у вкладі ритму
№1	α – ритм	3%
№2	θ та δ – ритми	2% та 3%
№3	γ – ритм	2%
№4	β – ритм	5%
№5	β та α – ритми	4% та 5%

Як відомо [10] основними характеристиками електричної активності мозку є α – та β – ритми ЕЕГ. Синхронізація α – та β – активності у неокортексі людини свідчить, що нервова система включає механізм самовідновлення та саморегуляції. Мозок покращує свою роботу, людина набуває психічну стійкість. Тому, відповідно до поставленої задачі, досліджувались зміни вказаних показників від частотних характеристик звукових сигналів.

Аналіз результатів показує, що у 65 % досліджуваних відмічене зростання β – ритму порівняно з початковим станом, у 70 %, з тих у кого зріс вклад ритму, після музики тенденція була збережена у 4 і 5 композиції. Ці два музичних уривка справляли на випробовуваних вплив, що проявлявся в зміні коефіцієнту КУ.

Встановлено, що при прослуховуванні композицій №4 та №5 в яких переважав середньо частотний діапазон, відбувалось підвищення β -ритму активності мозку. Можна зробити висновок, що такий результат викликали середні частоти. Зміни параметрів ЕЕГ під час прослуховування композиції №5 були більшими на 20 % ніж при прослуховуванні 4 композиції. Спектрального аналізу цього звукового ряду свідчить що в даному уривку виділяють не тільки середнє частотну, але і високочастотну складову (рис. 1).

Для детального розгляду п'ятої композиції було поділено її та відповідну ділянку ЕЕГ на п'ять частин (патернів), кожна з яких триває 25 секунд. За показниками ЕЕГ по патернах будується графік спектральної щільності потужності (СЩП) β – ритму, для кожного з них. СЩП – це функція, що описує розподіл потужності сигналу в залежності від частоти, тобто потужність, що припадає на одиничний інтервал частоти (Вт/Гц).

На рис. 2 наведено розподіл спектральної щільності потужності β – ритму по патернах. Як видно з графіку на патерні 1, розподіл СЩП β – ритму переважно рівномірний, статистично достовірних підвищень не виявлено. У патерні 2 є чотири виражені підвищення СЩП на $25 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$, на $37 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$, на $25 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ та на $15 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ при безперервній реєстрації ЕЕГ відповідно до проміжків часу (1с – 4с; 7с – 11с; 14с – 18с; 20с – 25с). На графіку у патерні 3, підвищень не виявлено. В патерні 4 є одне підвищення на $31 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ на проміжку часу з 2с по 4с. Патерн 5 у своєму

складі має два підвищення на $27 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ та $19 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ відповідно до часових відрізків: 2с – 6с та 13с – 16с. В середньому, підвищення СЩП β – ритму відмічається на $25\text{--}30 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$, або на – 260 %.

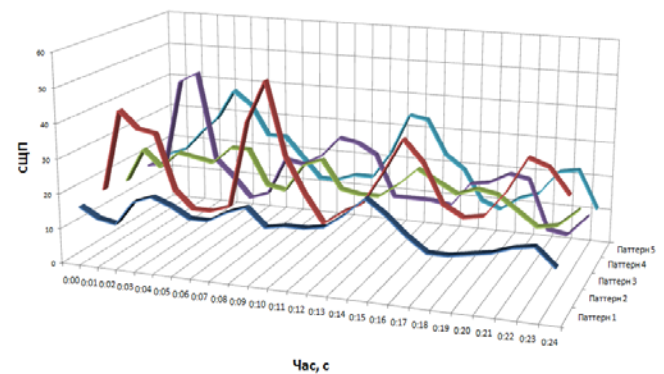


Рис 2. Графік розподілу спектральної щільності потужності β – ритму по патернах

В результаті аналізу змін спектральної щільності потужності β – ритму було виділено сім виражених підвищень СЩП. Спектральний аналіз часових уривків аудіосигналу 5 відповідно до часових проміжків де фіксувалося підвищення СЩП демонструє присутність характерних частот на музичних композиціях.

Найбільш виражені частоти, які найчастіше зустрічаються на обраних, під час аналізу СЩП, ділянках звукового сигналу (92, 138, 275, 1318, 2210, 2251, 2608, 2998) у більшості потрапляють в діапазон середніх частот.

У зв'язку з тим, що нормалізація когнітивної активності залежить від вкладу α – ритму електричної активності мозку, досліджувався зміни α – ритму по патернах. Графік змін СЩП α – ритму представлені на рис. 3.

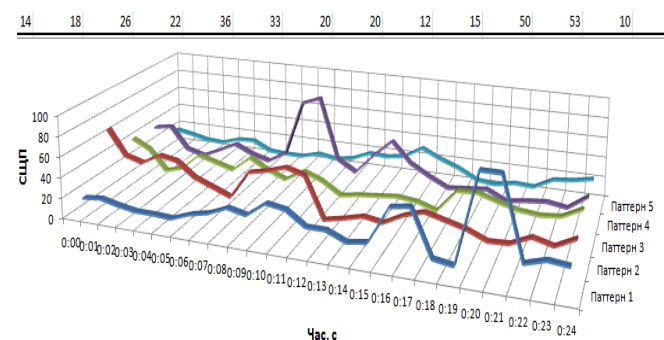


Рис. 3. Графік розподілення спектральної щільності потужності α – ритму по патернах

Як видно на графіку, патерну 1 має підвищення потужності α – ритму на $83 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$, який спостерігається з 19с до 22 с. На патерні 2 підвищення на $35 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ та на $25 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$

з'являються з 0 с до 2 с та з 7 с до 12 с. На патерні 3, підвищення на $27 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ з'являються з 4с по 11с та на $24 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ з 17 с по 21 с. На графіку патерну 4 підвищення на $71 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$ спостерігається на часовому проміжку 8с – 11с. На патерні 5 спостерігається підвищення на $27 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$, яке спостерігається в з часу 12 с по 18 с. В середньому підвищення СЦП α -ритму зафіксовані на $30\text{--}40 \text{ мкВт}^2/\text{Гц}$, що відповідає 330 %

В результаті аналізу змін спектральної щільності потужності β – ритму було виділено сім виражених підвищень СЦП. Спектральний аналіз часових уривків аудіо сигналу 5 відповідно до часових проміжків де фіксувалося підвищення СЦП демонструє присутність характерних частот на музичних композиціях.

Найбільш виражені частоти, які найчастіше зустрічаються на обраних, під час аналізу СЦП, ділянках звукового сигналу (250, 319, 370, 1298, 1925, 2315, 2705, 2815) у більшості потрапляють в діапазон середніх частот.

Для кількісної оцінки наявності взаємозв'язку між частотними характеристиками електричної активності головного мозку та динамікою коефіцієнту концентрації уваги під впливом звукових стимулів, використовувались дані числових значень вкладів ритмів у кожному відведенні, а також усереднені значення ритмів по лівим, правим, всім каналам та асиметрії. Під вкладами ритмів розуміється доля кожного ритму відносно 100 % для обраної частини енцефалограми. Також для вивчення зв'язку між показниками уваги та характеристиками ЕЕГ використовувалась характеристика зміни коефіцієнту КУ. Дані підлягали аналізу кореляцій між групами з підвищенням (КУ-1) та пониженням коефіцієнту КУ (КУ-2), аналі-

зу динаміки по періодам та аналізу відхилень від початкового значення.

Найбільший вклад в зміни характеристик ЕЕГ спостерігається при прослуховуванні 4 та 5 композиції, прослуховування 5 композиції змінювало коефіцієнт КУ на 15 % більше ніж 4 композиція. Найбільш виражені результати були отримані після аналізу динаміки зміни характеристик електричної активності мозку до і під час дії композиції № 5. В результаті аналізу було визначено закономірності зв'язку зміни коефіцієнту КУ (група з пониженням та група з підвищенням КУ) та вкладів ритмів (доля кожного ритму серед усіх, де загальна сума 100 %).

По змінам коефіцієнту КУ усі дані було поділено на 2 групи: з підвищенням КУ (КУ-1) та пониженням КУ (КУ-2).

На рис. 4. зображено зміну вкладу β – ритму (у відсотках відносно до суми по всім ритмам) під час прослуховування музичних патернів (1, 2, 3, 4, 5) відносно фонові тиші.

На графіку зображено зміни β -ритму у лівій та правій півкулях.

Аналіз зміни вкладу β – ритму у лівій та правій півкулі (рис. 5), свідчить про симетричність досліджуваних протікаючих процесів.

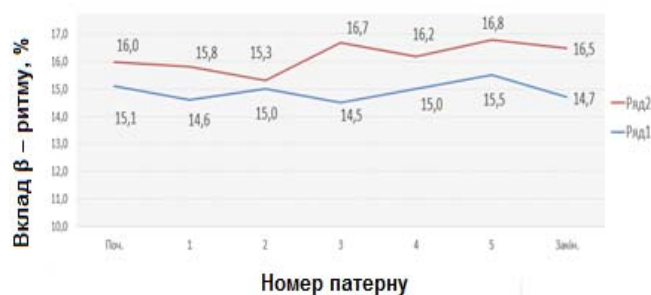
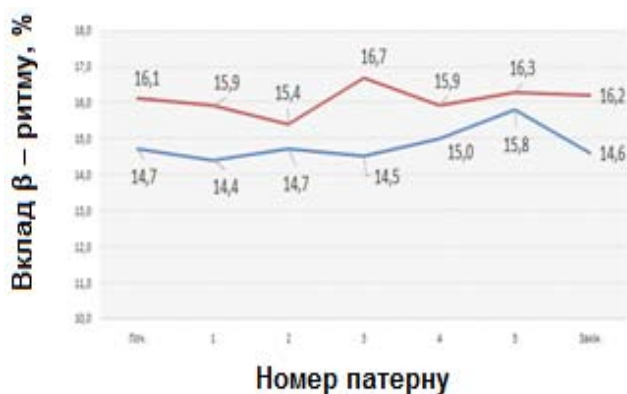
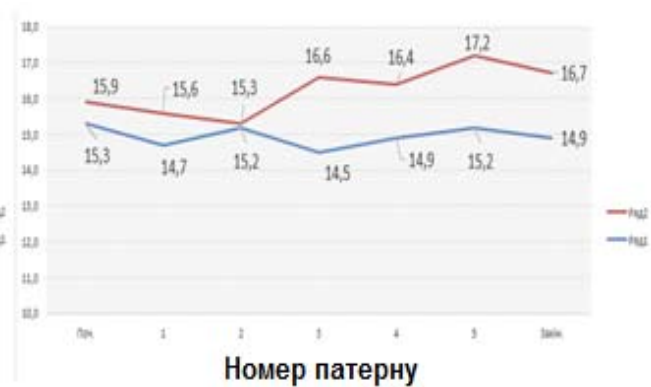


Рис. 4. Вклад β – ритму по сумі у всіх відведеннях: Ряд 1 – Група КУ-1; Ряд 2 – Група КУ-2



а)



б)

Рис. 5. Вклад β – ритму а) у лівій півкулі, б) у правій півкулі: Ряд 1 – Група КУ-1; Ряд 2 – Група КУ-2

Наведені результати свідчать, що в групі КУ-2 β -активність більша ніж у групі КУ-1. З іншого боку, можна сказати, що підвищення β -активності відповідає пониженню концентрації уваги, або призводить до погіршення уваги.

Аналіз змін α -ритму по патернах проводили у двох групах: КУ-1 та КУ-2. На рис. 6. зображено зміну вкладу α -ритму (у відсотках) підчас прослуховування музичних патернів (1, 2, 3, 4, 5) відносно фоновій тиші.

На графіку зображено зміни вкладів α -ритму у лівій та правій півкулях.

Аналіз зміни вкладу α -ритму у лівій та правій півкулі (рис. 7), свідчить про симетричність протікаючих процесів.

Виявлено, що вклади α -ритму змінювались прямо пропорційно до зміни концентрації уваги, тобто у групі КУ-1 спостерігалось підвищення числових значень вкладу α -ритму на 4–5 %, також в обох групах спостерігалась однонаправленість досліджуваних процесів.

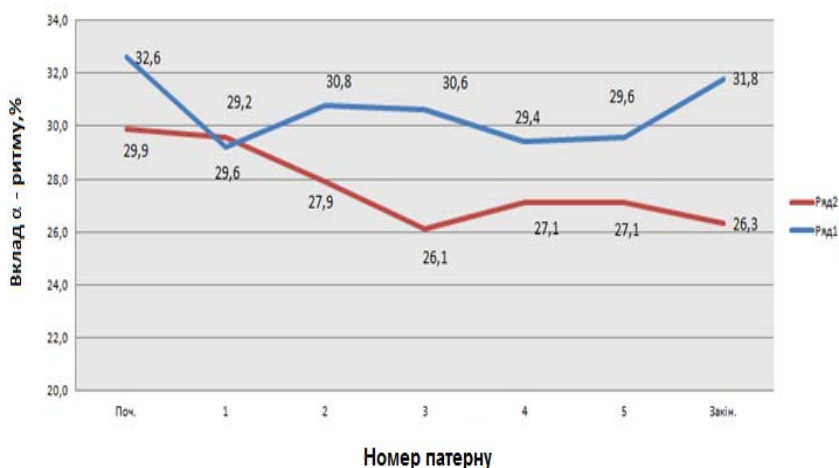


Рис. 6. – Вклад α - ритму по сумі у всіх відведеннях: Ряд 1 – Група КУ-1; Ряд 2 – Група КУ-2

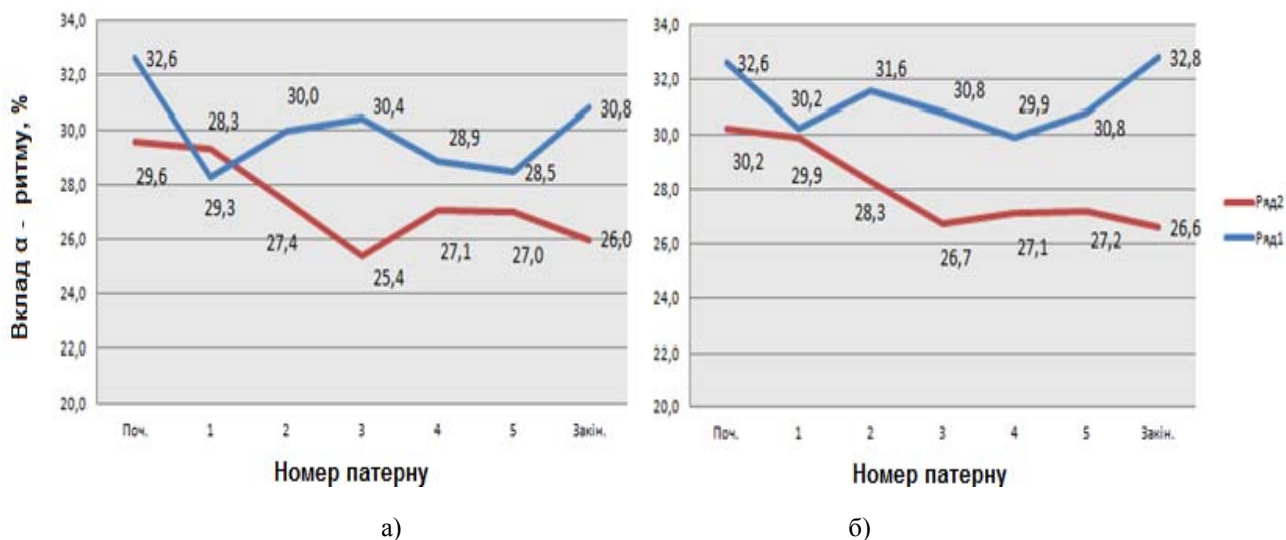


Рис. 7. Вклад α - ритму а) у лівій півкулі, б) у правій півкулі: Ряд 1 – Група КУ-1; Ряд 2 – Група КУ-2

Середні числові значення вкладу β -ритму для досліджуваних з КУ-2 більші на 2 % ніж у іншій досліджуваній групі, для вкладів α -ритму – навпаки. Це можна пояснити тим, що Бета-ритм описує найбільш непродуктивний стан роботи мозку, тому що він виникає при стресі та

тривожному стані. Людина не здатна сприймати нову інформацію, а тільки захищатися і протистояти будь-яким пропозиціям ззовні. Хвилі β -стану викликають відчуття занепокоєння, нервозність, розгубленість, метушливість. Такий стан збільшує труднощі когнітивної діяльності.

В. Висновки

1. Музичні уривки з переважанням низьких частот підвищують СШП α -ритму.
2. Музичні уривки з переважанням середніх частот підвищують СШП β -ритму.
3. Виявлена оберненої залежності між динамікою вкладу β -ритму та коефіцієнтом концентрації уваги.
4. Зміни коефіцієнту концентрації уваги прямо пропорційні змінам вкладу α -ритму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] The effect of musical experience on hemispheric lateralization in musical feature processing / Kentaro Ono, Akinori Nakamura, Kenji Yoshiyama [et al.] // *Neuroscience Letters*. – 2011. – P. 141–145.
- [2] Конарева И. Н. Изменения электроэнцефалограммы и эмоционального состояния под влиянием прослушивания музыки / Конарева И. Н. // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского Серия «Биология, химия»*. – 2010. – С. 40–47.
- [3] Соколова Л.В. Спектральные характеристики биоэлектрической активности мозга студентов при прослушивании аудиостимулов различного компонентно-структурного состава / М. А. Кунавин, Л. В. Соколова // *Экология человека*. – 2014. – №3. – 2 с.
- [4] Гарипова С. Р. Изучение физиологического влияния музыки на живые организмы / Гарипова С. Р., Басырова Э. // *Анализ музыки в контексте задач музыкальной педагогики* : Мат. научно-практической конф. – Уфа: Вагант, 2012. – С. 115–121 с.
- [5] Шпенков О. О. Зміни електричної активності головного мозку під час прослуховування рок-музики із видозміненою частотною структурою / О. О. Шпенков, С. В. Тукаєв, І. Г. Зима, С. А. Крижановський // *Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки»*. – 2014. – С. 121-128.
- [6] The influence of background music on learning in the light of different theoretical perspectives and the role of working memory capacity / Lehmann JAM, Seufert T // *Фронт Психолог*. – 2017 – 1 с.
- [7] Гусева Е. И., Неврология: национальное руководство / Е. И. Гусева, А. Н. Коновалова, В. И. Скворцовой, А. Б. Гехт // *ГЕОТАР-МЕДИА*, 2010 – с.174 – 175
- [8] Дьяконов В. П., Современные методы Фурье-, вейвлетанализа сигналов. Контрольно-измерительные приборы и системы – 2009, № 2 – 25 с.
- [9] <https://www.mathworks.com/>
- [10] <https://www.ibm.com/products/spss-statistics/>
- [11] Штефан С. В., Статистичні методи досліджень/Штефан С. В.// *Тексти лекцій для студентів Інституту журналістики*, 1999 – 40 с.
- [12] Андронникова Е. А., Методы исследования восприятия, внимания и памяти. Руководство для практических психологов / Андронникова Е. А., Заика Е. В. // г. Харьков, 2011. – 161 с.
- [13] *Выходец А. В., Справочник по радиовещанию / Захарин В. М., Рудый Е.М., В.И. Денисов, А.В. Выходец. – Київ: Техніка, 1981. – 18 с.*
- [14] Данилова Н. Н. Физиология высшей нервной деятельности / Н. Н. Данилова, А.Л. Крилова. –Ростов, 2009. – 467 с.

СВЯЗЬ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ β -РИТМА ПОД ВЛИЯНИЕМ АУДИО СТИМУЛОВ РАЗНОГО КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА

Калашникова Л. Е., доц. к.б.н.

doc_hom2000@yahoo.com

Овчаренко Р., ас. каф.

ilikanet@ukr.net

Александрова Е. А., студент

kasbk@ukr.net

Факультет биомедицинской инженерии

Национальный технический университет

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

г. Киев, Украина

Реферат – Одним из видов стимуляции умственной активности является прослушивание музыки. В настоящее время в литературе отсутствуют сведения о зависимости биоэлектрической активности головного мозга от амплитудно – частотных характеристик звукового сигнала. Для анализа эффективности стимуляции умственной активности музыкой, исследовали взаимосвязь между коэффициентом концентрации внимания и электрической активностью мозга. Спектральный анализ пиковых частотных составляющих β и α – ритма ЭЭГ и исследования пространственного распределения спектральной плотной мощности ЭЭГ свидетельствует о зависимости электрических характеристик мозга от амплитудно-частотных характеристик звукового сигнала. Установлено, что музыкальные отрывки с преобладанием низкочастотного диапазона вызывают повышение спектральной плотности мощности α – ритма ЭЭГ. Музыкальные отрывки с преобладанием средних частот вызывают повышение спектральной плотности мощности β – ритма ЭЭГ. Исследование выявило наличие обратной зависимости между динамикой вкладов β – ритмов и коэффициентом концентрации внимания. Вклады α – ритма изменялись прямо пропорционально изменению коэффициента концентрации внимания.

Ключевые слова – спектр частот, амплитудно-частотная характеристика, электроэнцефалограмма, спектральная плотность мощности, неокортекс, ритмы ЭЭГ, электрическая активность мозга, звуковые колебания, коэффициент концентрации внимания, IBM SPSS Statistics.

COMMUNICATION OF COGNITIVE ACTIVITY WITH CHARACTERISTICS OF β -RHYTHM UNDER THE INFLUENCE OF AUDIO STIMULI OF DIFFERENT COMPONENT COMPOSITION

Kalashnikova L. E., Assoc. Ph.D.

doc_hom2000@yahoo.com

Ovcharenko G. R., asc.

ilikanet@ukr.net

Aleksandrova K. O., student

kasbk@ukr.net

Alexandrov O. R.

alex671511@gmail.com

Faculty of Biomedical Engineering

National Technical University

"Kiev Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"

Kiev, Ukraine

Abstract – One of the types of stimulation of the mental processes is the music influence. At present, the literature does not contain information about of the dependence of brain bioelectric activity on the amplitude - frequency characteristics of the audio signal. To realize the effect, it is necessary to determine the presence of a relationship between the concentration of attention concentration and the electrical activity of the brain. In order to evaluate the relationship between the frequency characteristics of the electrical activity of the brain and the dynamics of changes in the concentration of attention under the influence of sound stimuli. For collecting and pre-analysis of data, Tredex hardware and software complex was used, and the IBM SPSS Statistics software package was used for statistical analysis. Also, a spectral analysis of peak frequency components β and α - rhythm of EEG and spatial distribution of EEG spectral power was performed. The essence of this study was that, by influencing the acoustic signals on the participants, to obtain as much as possible complete data on the activity of the cerebral cortex of humans while listening to audio signals. As a result of the study, the connection between the characteristics of brain electrical activity and the concentration of attention, under the influence of musical stimuli, was confirmed. The study revealed the existence of an inverse relationship between the dynamics of the contributions of β - rhythms and the concentration of attention. The contributions to the α -rhythm varied directly proportional to the change in the concentration of attention concentration.

Key words – spectrum of frequencies, amplitude-frequency characteristic, electroencephalogram, spectral density of power, neocortex, EEG rhythms, brain electrical activity, sound oscillation, concentration factor, IBM SPSS.