УДК 78::612.821.5

О.О. Шпєнков, С.В. Тукаєв, І.Г. Зима, С.А. Крижановський

ЗМІНИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ПІД ЧАС ПРОСЛУХОВУВАННЯ РОК-МУЗИКИ ІЗ ВИДОЗМІНЕННОЮ ЧАСТОТНОЮ СТРУКТУРОЮ

Дослідження змін емоційних станів із використанням різних звукових стимулів (звуки природи, музичні твори різних напрямків) на сьогодні набуло широкої популярності. В даній роботі досліджено відмінності динаміки ЕЕГ під час прослуховування звуків та рок-музики у двох варіантах (з нативним частотним спектром та із зниженим рівнем сигналу низьких частот). У дослідженні взяли участь 20 здорових добровольців віком від 18 до 22 років без музичної освіти. Для оцінки змін спектральної потужності ЕЕГ внаслідок прослуховування аудіофрагментів було проведено порівняння проб кожного аудіо фрагменту із передуючими станами спокою. Під час прослуховування аудіонавантаження найбільш значні зміни в ЕЕГ спостерігались переважно в тета- та бета-діапазонах, що вказує на розвиток емоційних та когнітивних процесів. При прослуховуванні двох варіантів рок-композицій було виявлено різну латералізацію в β2-піддіапазоні: ліву темпорально-парієтально-окципітальну для нативної рок-композиції, й праву фронто-темпорально-парієтальну для перетвореної рок-композиції. Отримані дані вказують як на розвиток когнітивних процесів, пов'язаних із обробкою музичних компонент, так і на зміни рівня емоційного напру-ження в залежності від спектральної структури музичного фрагменту.

Ключові слова: *Аудіо сприйняття, білий шум, природні звуки, рок-музика, ЕЕГ.*

Постановка проблеми. Аналіз останніх жосліджень і публікацій. На сьогодні проводиться багато досліджень у сфері нейронаук, пов'язаних із сприйняттям музики та вивченням мозкових механізмів її обробки. Зокрема вивчаються сприйняття як повноцінних музичних творів, так і окремих музичних компонент, таких як висота окремих звуків, ритм, тембр [11]. Одночасно з цим використання музики є зручним інструментом для дослідження сприйняття та переживання емоцій [6, 8]. Проте, треба зазначити, що досліджень особливостей сприйняття музичних творів в залежності від зміни його частотних характеристик на тепер вкрай недостатньо, хоча добре відомо, що досвідчені музиканти та звукорежисери під час запису музики враховують той факт, що в залежності від рівня сигналу тих чи інших частот музична композиція може по-різному сприйматись, викликати певні емоції і впливати на їх силу. Тому ми вирішили дослідити вплив низькочастотного компоненту в рок-музиці, який є її основною ритмічною складовою, на сприйняття цілісного музичного твору.

Мета роботи: дослідити нейродинаміку ЕЕГ-корелятів сприйняття фрагментів рок-музики з нативною та видозміненою частотною структурою.

Методика

Процедура дослідження полягала у реєстрації ЕЕГ у відповідь на звукове навантаження. У дослідженні взяли участь 20 студентів віком від 17 до 22 років, з яких 16 жіночої статі та 4 чоловічої. Обстежувані не мали музичної освіти. В якості стимулів було обрано чотири аудіо фрагменти: білий шум (40 секунд), спів птахів (солов'ї) (60 секунд), інструментальна рок-композиція гурту «Синя Вапа» під назвою «Моя любов» (75 секунд), таж сама рок-композиція із зниженим рівнем сигналу в діапазоні низьких частот (60Гц, 150Гц, 400Гц) (надалі рок-композиція із видозміненим частотним спектром). Видозміна частотного спектру рок-композиції була проведена за допомогою аудіо редактору "GoldWave". Білий шум та спів птахів було обрано в якості контролю емоційності аудіо сприйняття.

Для запису ЕЕГ використовувався електроенцефалограф «Нейроком» виробництва ХАІ-Медіка (м.Харків, Україна). 19 активних електродів накладалися за міжнародною системою "10-20%". Електроенцефалограма реєструвалась монополярно у наступних стандартних відведеннях: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2, Fz, Cz, Pz. У якості референтного використовували об'єднаний вушний електрод (A1, A2). Частота дискретизації аналогового сигналу – 500 Гц. Для аналізу спектрального складу електроенцефалограми застосовували швидке перетворення Фур'є. Артефакти знаходили і усували за допомогою візуального аналізу та аналізу незалежних компонент (ICA). Оцінювалась спектральна потужність (СП) окремих піддіапазонів ЕЕГ від 4 до 35 Гц: θ1- (4-6Гц), θ2- (6,1-7,5Гц), α1- (7,51-9,5Гц), α2- (9,51-11Гц), α3- (11,1-13Гц), β1- (13,1-20Гц), β2- (20,1-35Гц).

Обстежувані знаходились у затемненій, звукоізольованій камері в зручному кріслі. Запис ЕЕГ досліджуваних записувався із закритими очима за наступною схемою: фоновий запис (2 хвилини), пред'явлення першого аудіо стимулу - білий шум (40 секунд), післядія (2 хвилини), стан спокою 1 (2 хвилини), пред'явлення другого аудіо стимулу - спів птахів (60 секунд), післядія (2 хвилини), стан спокою 2 (2 хвилини), пред'явлення третього аудіо стимулу - рок-композиція (1 хвилина 15 секунд), післядія (2 хвилини), стан спокою 3 (2 хвилини), пред'явлення четвертого аудіо стимулу - рок-композиція із видозміненим частотним спектром (1 хвилина 15 секунд), післядія (2 хвилини), післядія (2 хвилини).

Після завершення запису ЕЕГ учасники отримували завдання оцінити стимули за двома шкалами: емоційної валентності та емоційної активації (від «-5» до «5»).

Статистичний аналіз даних проводився за допомогою пакету STATISTICA 8 (StatSoft, USA). Для порівняння двох залежних вибірок було застосовано непараметричний критерій Вілкоксона.

Результати та їх обговорення.

Аналіз суб'єктивної гедонічної оцінки аудіо навантажень за шкалами емоційної валентності та активації. Проаналізувавши суб'єктивну гедонічну оцінку аудіо фрагментів за шкалою емоційної валентності встановили наявність значущих відмінностей в оцінці обстежуваними білого шуму (-4, [-5, -4], $p < 0.05$) у порівнянні з усіма іншими аудіо фрагментами (спів птахів (3, [3, 5]), нативна рок-композиція (4, [3, 4]), видозмінена рок-композиція (4, [2.5, 4])). При порівнянні суб'єктивної оцінки за шкалою емоційної валентності інших аудіо фрагментів між собою значущих відмінностей не виявлено (рис. 1).

Аналіз суб'єктивної оцінки за шкалою емоційної активації також виявив наявність значущих відмінностей (рис.2). Оцінка співу птахів значущо відрізнялась (-3, [-4, -2], $p < 0.05$) від оцінки інших аудіо фрагментів (білий шум (4, [3, 5]), нативна рок-композиція (3, [2, 4]), видозмінена рок-композиція (3, [1.5, 4])). Значущі відмінності ($p < 0,05$) також було виявлено при порівнянні оцінювання нативної рок-композиції (3, [2, 4]) та рок-композиції із видозміненим частотним спектром (3, [1.5, 4]) .

Аналіз змін спектральної потужності ЕЕГ. Для оцінки змін спектральної потужності ЕЕГ внаслідок прослуховування аудіо фрагментів було проведено порівняння проб кожного аудіо фрагменту із передуючими станами спокою. У порівнянні із передуючим станом спокою під час прослуховування білого шуму відбувалось посилення активності θ1-піддіапазону у фронтальних відведеннях в θ1-піддіапазону (Fp1, Fp2) (Рис.3, А), θ2-,- α3- та β1-піддіапазонів (Fp2), а також в β2-піддіапазону у фронтальних, темпоральних та центральних відведеннях переважно правої півкулі (Fp2, F4, T4, C3). Слід звернути увагу, що майже у всіх вищезгаданих

ЕЕГ-піддіапазонах спостерігалась досить чітка правопівкульна активація фронтальних зон.

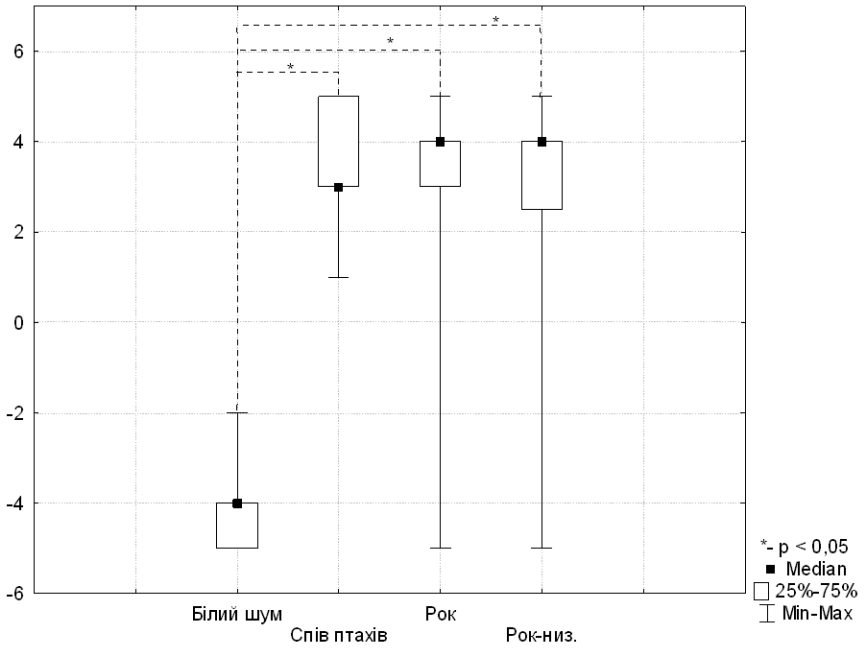

Рис.1. Суб'єктивна оцінка аудіо фрагментів за шкалою емоційної валентності ($p < 0,05$).
Примітка. "Рок" - нативна рок-композиція, "Рок–низ." - рок-композиція із видозміненим частотним діапазоном.

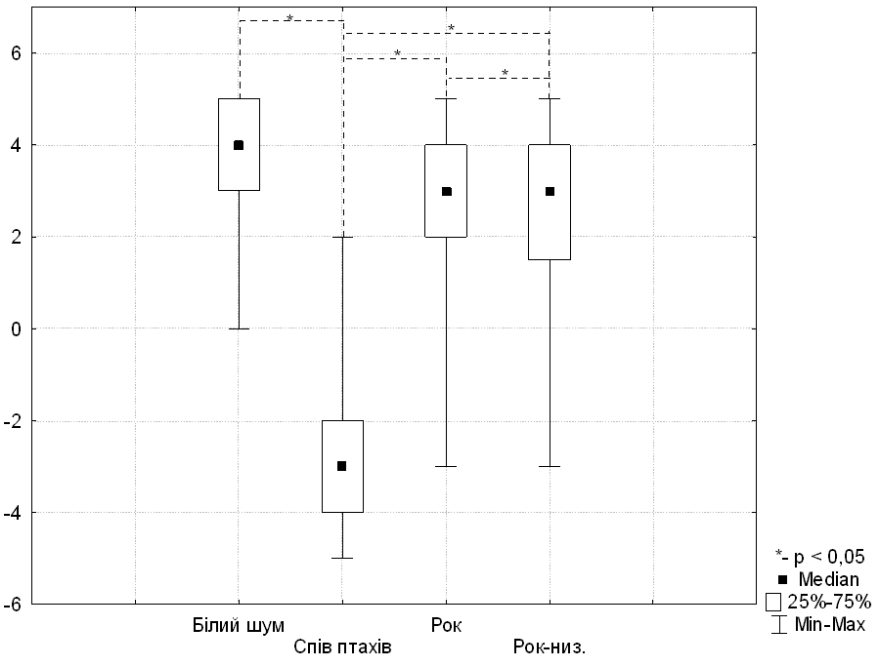

Рис.2. Суб'єктивна оцінка аудіо фрагментів за шкалою емоційної активації ($p < 0,05$).
Примітка. "Рок" - нативна рок-композиція, "Рок–низ." - рок-композиція із видозміненим частотним діапазоном.

Відомо, що фронтальні ділянки правої півкулі асоціюються із обробкою новизни інформації [9]. Тому, цілком можливо, що виявлена нами правопівкульна активація фронтальної долі у вище згаданих піддіапазонах обумовлена реакцією на новизну стимулу. Крім цього, виявлену нами правопівкульну активацію також можна пов’язати

із негативною емоційною відповіддю на пред'явлений аудіо стимул (білий шум) (Рис.1), зважаючи на результати досліджень Altenmuller [8], в яких описується активація фронто-темпоральної кори переважно правої півкулі при прослуховуванні негативно забарвлених аудіо стимулів, і активація лівої темпоральної кори головного мозку при прослуховуванні позитивно забарвлених стимулів.

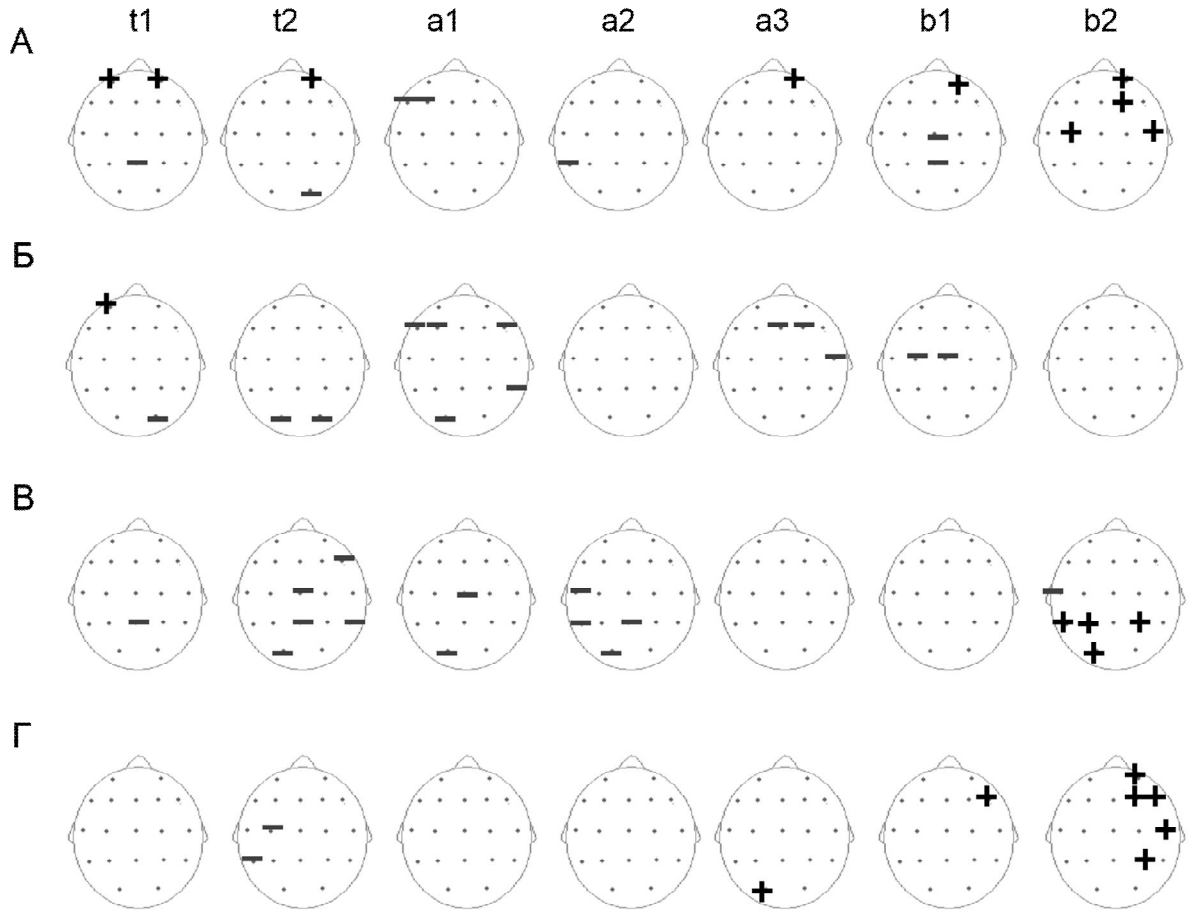

Рис.3. Топокарти зміни спектральної потужності діапазонів ЕЕГ на різних етапах дослідження в порівнянні із попереднім станом спокою (n = 20).

Примітка. А - білий шуму; Б - спів птахів; В - рок-композиція; Г - рок-композиція із видозміненим частотним спектром. «+» – зростання спектральної потужності діапазону, «-» – зниження (p < 0,05).

Trochidis також було показано відносно більшу активність правої півкулі у фронтальних та центральних відведеннях θ-діапазону під час прослуховування музики з негативною емоційною валентністю [6]. В нашому випадку при прослуховуванні білого шуму спостерігалось збільшення активності в правому фронтальному відведенні в θ2-піддіапазоні (Fp2). Зміни активності високочастотних коливань фронтальних зон, виявлені в наших дослідженнях, виявились схожими на зміни β-діапазону у дослідженнях Giannitrapani [10]. Він використовував білий шум як неструктурований аудіо стимул при дослідженні скануючого механізму (scanning mechanism). Отримані ним данні вказують на збільшення β-активності (21-33 Гц) під час прослуховування білого шуму у фронтально-темпоральних відведеннях, при чому така активність була більш виражена теж в правій півкулі. Крім цього, посилення високочастотних складових також пов'язують з механізмами формування негативних емоційних станів та тривожності, особливо при збільшенні їх СП в правій півкулі [1].

Тому, виходячи з цього, можливо припустити, що виявлене нами збільшення СП в β1- та β2-піддіапазонах у відведеннях правої півкулі вказує на певну негативну емоційну активацію.

Крім описаних змін ЕЕГ у фронтальних відділах лівої півкулі (F3, F7) також спостерігалась депресія α1-піддіапазону (сенсорна увага), що підтверджує описану когнітивно-емоційну активацію [5]. Також було зареєстровано локальні поодинокі зменшення потужності потенціалів в θ1- (Pz), θ2- (O2), α2- (T5) та β1-піддіапазонах (Cz, Pz), функціональне значення яких трактувати доволі важко.

Аналіз змін СП ЕЕГ при прослуховуванні співу птахів у порівнянні з передуючим станом спокою (Рис.3, Б) на відміну від такого із прослуховуванням білого шуму показав, що активація відбувалась лише у фронтальному відведенні, але лівої півкулі (Fp1) й тільки в θ1-піддіапазоні. Цілком можливо припустити, що такі локальні зміни в θ1-піддіапазоні пов'язані із розслабленням і релаксацією з позитивним емоційним забарвленням [6, 8] (Рис.1). Висунуте припущення знаходить своє підтвердження в результатах суб'єктивного оцінювання цього аудіо стимулу за шкалою емоційної активації - загалом обстежувані оцінювали сприйняття співу птахів як релаксуючий, позитивний фактор (Рис.2). На це також вказує і зменшення активності у фронтальних та темпоральному відведеннях α3-піддіапазону (Fz, F4, T4) [5, 13]. Зменшення СП також спостерігалось в β1-піддіапазоні в центральних відведеннях (Cz, C3).

На зниження емоційної та когнітивної активації, пов'язаної з кортико-гіпокампально-лімбічними взаємодіями [12], вказує також зменшення активності в окципітальних відведеннях θ1- (O2) та θ2-піддіапазонах (O1, O2). (Рис.3, Б).

Як і очікувалось, прослуховування співу птахів супроводжувалось більш вираженою, у порівнянні з білим шумом, реакцією активації механізмів зовнішньої уваги [5] - значуща депресія активності в α1-піддіапазоні в цей раз спостерігалось у лівих фронтальних відведеннях (F7, F3), в правих фронтальному (F8) і темпоральному (T6) та лівому окципітальному (O1).

При прослуховуванні рок-композиції з нативною частотною структурою (Рис.3, В) найбільш вираженими у низькочастотній частині спектру ЕЕГ були зміни θ2-піддіапазону у фронтальних, центральних, парієтальних, потиличних та темпоральних відведеннях (F8, Cz, Pz, O1, T6), що може вказувати на зниження валентної емоційної складової [6]. Зниження СП також відбувалось в α1-піддіапазоні в центральному та потиличному віведеннях (Cz, O1) та в α2-піддіапазоні в скроневих, парієтальних та потиличних відведеннях (T3, T5, Pz, O1) (посилення процесів зовнішньої уваги) [5]. В α3-піддіапазоні спостерігалось локальне збільшення в окципітальному відведенні (O1). Подібні зміни в α-піддіапазонах під час прослуховування рок-музики були отримані також й іншими авторами [2]. Локальні зміни відбувались і в θ1-піддіапазоні (Pz).

В області високочастотних складових ЕЕГ (β-діапазон) спостерігалось збільшення СП β2-піддіапазону в парієтальних, скроневих та потиличних відведеннях переважно лівої півкулі (P4, P3, T5, O1) та локальне зменшення СП у темпоральному відведенні лівої півкулі (T3).

Зважаючи на точку зору про функціональне значення активації темпорально-парієтально-окципітальних областей лівої півкулі (генерація образів, процеси уяви) [4] виявлена латералізована реакція може вказувати на активацію внутрішньої психічної активності слухачів і підвищення рівня активаційної емоційної складової, пов'язаної зі сприйняттям музичного фрагменту.

Отримані нами дані узгоджуються з даними досліджень із використанням емоційних аудіо стимулів, в яких було виявлено збільшення амплітуди викликаних

потенціалів в потиличних відведеннях в β-діапазоні обох півкуль при наданні як приємних так і неприємних стимулів [7].

Можна також припустити, що така ліволатеральна реакція вказує на позитивну емоційну відповідь, що узгоджується з позитивною емоційною оцінкою (приємний, активуючий) сприйняття даного музичного фрагменту (Рис. 1,2)

Важливо зазначити, що прослуховування рок-композиції із видозміненим частотним спектром (Рис.3, Г) не супроводжувалось змінами в α- і θ- діапазонах, як при прослуховуванні нативної рок-композиції, окрім зменшення активності в θ2-піддіапазоні у відведеннях С3 й Т5. На відміну від нативної рок-композиції при прослуховуванні рок-композиції з видозміненою частотною структурою, топографічна локалізація збільшення СП в β2-піддіапазоні «перемістилась» в праву півкулю, і стосувалась фронтальних, скроневих та парієтальних областей. Крім цього у фронтальному відведенні правої півкулі (F8) спостерігалось локальне збільшення СП в β1-піддіапазоні. Цікаво, що схожа подібна активність спостерігалась і при прослуховуванні білого шуму (Рис.3. А, Г).

Відомо, що фронтальні зони неокортексу зв'язуються здебільшого з формуванням валентної компоненти емоцій, в той час як задні, особливо правої півкулі – з процесами емоційної активації незалежно від валентності [3] .

Як вже було зазначено, за деякими джерелами збільшення активності в β-діапазоні правої півкулі корелює з негативними емоційними станами [1]. Проте, порівняння суб'єктивного оцінювання обох рок-композицій за шкалою емоційної валентності в наших дослідах значущих відмінностей не виявило (Рис.1). Більше того, є дані, які вказують на зв'язок правої тім'яно-скроневої зони з процесами пам'яті, уяви, а також з механізмами пильної ("alerting") та мотиваційної ("motivated") уваги [13].

Необхідно зазначити, що посилення активності β-діапазону в правій півкулі можна пояснити ще й посиленням, ативацією аудіокортексу і пов'язаністю з обробкою складових музичних компонент та порівнянням із попереднім сприйняттям нативної рок-композиції. Адже відомо, що у людей без музичного досвіду обробка музикальних компонент, таких як висота, тембр та ритм, відбувається в первинній та вторинній слуховій корі правої півкулі. Так, використовуючи метод викликаних потенціалів негативної неузгодженості (mismatch negativity, MMN) було показано [11], що девіантні звукові стимули (висота, акорди, ритм та тембр) збільшують амплітуду потенціалу MMN у правій півкулі. Девіанти ритму та тембру викликали більший потенціал MMN ніж девіанти висоти та акордів. В нашому випадку зменшення сигналу низьких частот в рок-композиції призвели до зміни спектральної складової ритмічних компонентів композиції таких як бас-гітара та бас-бочка. Таким чином, можливо, чіткий зсув β-активності в передньо-темпоральні зони правої півкулі пов'язаний із реакцією на зміну у сприйнятті ритмічної компоненти композиції як девіантної, і з активацією системи мимовільної уваги.

Зважаючи на те, що подібна високочастотна активність може відображати процеси пам'яті, уваги або наявності емоційної складової, виникає потреба проведення більш поглибленого аналогічного дослідження і за участю обстежуваних із музичною освітою. Відомо, що у музикантів під час прослуховування музики відбувається активація лівої півкулі. Ці дослідження можуть дати більш детальну інформаці. щодо значення високочастотної активності під час прослуховування музики із зниженим рівнем низьких частот.

Висновки

1. Встановлено, що динаміка електричної активності головного мозку під час прослуховування обстежуваними фрагментів рок-музики із нативним спектром частот і рок-музики із зниженим рівнем сигналу низьких частот, специфічна для різних фрагментів і має чіткий латералізований характер.
2. При прослуховуванні звуків та музики найбільш значні зміни в ЕЕГ спостерігались переважно в низькочастотних та високочастотних піддіапазонах, що вказує на розвиток емоційних когнітивних процесів.
3. На відміну від активиції задніх ділянок лівої півкулі при прослуховуванні нативної рок-композиції, при прослуховуванні рок-композиції із зниженим рівнем низьких частот спостерігався чіткий зсув фокусу активності в β2-піддіапазоні у фронтальні, темпоральні та парієтальні ділянки правої півкулі. Така правопівкульна латералізація високочастотної активності може вказувати як на посилення процесів, пов'язаних з аналізом музичних компонент і порівнянням із попередньою нативною композицією, так і на розвиток процесів емоційного збудження.

Література

1. Деглин В. Л., Николаенко Н. Н. / О роли доминантного полушария в регуляции эмоционального состояния человека //Физиология человека. – 1975. – №1. – С. 418-426.
2. Михайлова Е. С. / Восприятие музыки здоровыми людьми и лицами, нахожящимися в состоянии депрессии // Физиология человека. - 1992. - Т. 18, № 6. - С. 68-76.
3. Affective style and affective disorders: perspectives from affective neuroscience / Davidson R.J. // Cognit. Emot. - 1998. - Vol. 12. - P. 307–330.
4. Contributions of occipital and temporal brain regions to visual and acoustic imagery – a SPECT study / Goldenberg G., Podreka L., Steiner M., et al. // Neuropsychologia. - 1991.- Vol.29. - P. 695-702.
5. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / Klimesch W. // Brain Research Reviews. – 1999. – Vol. 29. – P. 169–195.
6. EEG-based emotion perception during music listening / Trochidis K., Bigand E. // Proceedings of the 12th International Conference on Music Perception and Cognition and the 8th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music, July 23-28, 2012, Thessaloniki, Greece, 1018-1021.
7. Event-related beta oscillations are affected by emotional eliciting stimuli / Guntekin B., Basar E. // Neurosciense Letters. – 2010. – Vol. 483. – P. 173-178.
8. Hits to the left, flops to the right: different emotion during listening to music are reflected in cortical lateralisation patterns / Altenmüller E., Schürmann K., Lim V., Parlitz D. // Neuropsyhologia – 2002. - Vol.40. – P .2242-2256.
9. PET validation of a noval prefrontal task: delayed response alteration / Gold J. M. et al. // Neuropsychology. – 1996. – Vol. 10. – P. 3-10.
10. Scanning mechanisms and the EEG / Giannitrapani D. // Electroenceph. clin. Neurophisiol.. – 1971. – Vol. 30. – P. 139 – 146.
11. The effect of musical experience on hemispheric lateralization in musical feature processing / Kentaro Onoa, Akinori Nakamura, Kenji Yoshiyama [et al.] // Neuroscience Letters. – 2011. – Vol. 496. – P. 141-145.
12. The selectively distributed theta system: functions / Basar E., Schurmann M., Sakowitz O. // Int. J. Psycho-physiol. - 2001. - Vol. 39. - P. 197–212.
13. Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands / Aftanas L.I., Varlamov A.A., Pavlov S.V., Makhnev V.P.,Reva N.V. // Int. J. Psychophysiol. -2002. -Vol. 44.- P .67–82.

Аннотация. Шпенков А.А., Тукаев С.В., Зима И.Г., Крижановский С.А. Изменения электрической активности головного мозга при прослушивании рок-музыки с видоизменённой частотной структурой. *Исследования изменений эмоциональных состояний с использованием различных звуковых стимулов (звуки природы, музыкальные произведения разных направлений) сегодня приобрели довольно широкую популярность. В данной работе исследовались отличия динамики ЭЭГ во время прослушивания звуковых раздражителей и 2-х вариантов рок-музакльного фрагмента (с нативным частотным спектром и с сниженым*

уровнем сигнала низких частот). В исследовании приняли участие 20 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 22 лет без музыкального образования. Для оценки изменений спектральной мощности ЭЭГ вследствие прослушивания аудио фрагментов было проведено сравнение проб каждого аудио фрагмента с предыдущим состоянием покоя. Во время прослушивания звуков и музыки наиболее значительные изменения в ЭЭГ наблюдались преимущественно в θ - и β - диапазонах, связанных, как известно, с эмоциональными и когнитивными процессами. При прослушивании двух вариантов рок-композиций была *виявлена разная латерализация в β2-поддипазоне: левая темпорально-париетально-окципитальная активация для нативной рок-композиции, и правая фронто-темпорально-париетальную для преобразованной рок-композиции. Полученные данные могут указывать как на развитие когнитивных процессов, связанных с обработкой музыкальных компонентов, так и на увеличение уровня эмоционального возбуждения в зависимости от частотной структуры музыкального фрагмента.*

Ключевые слова: *Аудіо восприятие, рок-музыка, звуки природы, белый шум, ЭЭГ.*

Summary. Shpenkov O.O., Tukaiev S.V., Zyma I.G., Kryzhanovskyi S.A. EEG dynamics during the listening to the rock music with modified frequency structure. *Investigation of the emotional influence of audio stimuli on the human is relevant and popular today because the music in everyday life has a lasting impact on the psycho-physiological state. The aim of the study was to investigate neurodynamics of human brain during listening to the sounds (white noise and sound of birds) and two variants of rock music (complete frequency range and cutting frequency range (60, 150, 400 Hz). 20 healthy volunteers (women and men) - students aged 18 to 22 years with no prior musical education participated in this study. We estimated the spectral power density (SP) of all frequencies from 0.2 to 35 Hz. The results demonstrated that the changes of SP in theta- and beta-bands during listening to the sounds and rock music are related to emotional and cognitive processes. During listening to the rock-music in both variants we observed the different lateralization: left temporal, parietal and occipital zones (the native rock music) and right frontal, temporal and parietal zones (the rock music with reduced frequency range). This allows us to conclude that during listening to the music take place analytic cognitive process and/or emotion activating component.*

Key words: *Audio perception, rock-music, nature sounds, white noise, EEG.*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Одержано редакцією 17.01.2014
Прийнято до публікації 14.03.2014