

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ МУЗЫКАЛЬНОЙ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Л.А. Дикая (Ростов-на-Дону)

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Рособразования в рамках ФНТП
«Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)», проект РОСТ-НИЧ-734*

Аннотация. Приведены результаты экспериментального исследования специфичных паттернов ЭЭГ-активности у студентов консерватории, обучающихся по специальности «композиция», в процессе мысленного сочинения мелодий с различной эмоциональной окраской. Сопоставлены ЭЭГ-корреляты сочинения музыки и других видов музыкальной деятельности. Обсуждается связь нейрофизиологических механизмов музыкального творчества и других видов невербального творчества.

Ключевые слова: творческая деятельность; сочинение музыки; спектральная мощность ЭЭГ.

В когнитивной психологии и психофизиологии рубеж XX–XXI вв. ознаменован значительным увеличением количества нейрофизиологических исследований сложных форм когнитивной деятельности человека, и прежде всего мозговых механизмов творчества. Именно в «десятилетие мозга» объективные неинвазивные методы изучения мозговой активности с помощью профессиональных компьютерных программ обработки данных стали доступны широкому кругу исследователей. В современных научных работах описаны результаты исследования особенностей мозговой активности во время творческого процесса в отличие от нетворческого, при решении творческих задач в зависимости от пола испытуемых, избранной ими стратегии решения задачи, типа, характера и степени сложности задач, уровня мотивации к нахождению решения [3–5, 7, 8, 14]. При этом важно изучение мозговых механизмов истинного, внутренне мотивированного творческого процесса. Таким спонтанным творческим актом является сочинение музыки. Исследования нейрофизиологии музыкального творчества носят пока фрагментарный характер [2, 6, 8], имеющиеся данные не позволяют ответить на вопрос о мозговой топографической организации музыкальной творческой деятельности в отличие от нетворческой.

Творческая деятельность неразрывно связана с эмоциями, которые могут быть как причиной, так и следствием творческого акта. Важнейшей функцией эмоций как особого вида психических процессов, в которых отражается отношение человека к окружающему миру и самому себе, является регуляция человеческой активности, в частности оптимизация или затруднение выполнения человеком мыслительных операций. В современной когнитивной психологии и психофизиологии общепризнано мнение о теснейшем взаимопроникновении когнитивных и эмоциональных процессов [1, 4–7]. Поэтому целесообразным представляется совместное исследование творческой деятельности и эмоций.

Вместе с тем количество психофизиологических работ, посвященных исследованию эмоциональной составляющей творческой деятельности, невелико [7, 10, 14]. В настоящий момент существует явный недостаток

исследований мозговых коррелят музыкальной творческой активности и полностью отсутствуют данные, сочетающие анализ мозговых коррелят музыкального творчества и индуцированных эмоциональных состояний. Тем более, неизученным остается вопрос о локализации зон коры мозга, связанных с обеспечением музыкального творческого акта в зависимости от его эмоциональной окраски.

Выявление функциональных, пространственных и структурных коррелятов эмоционально окрашенной музыкальной творческой деятельности позволит понять мозговые механизмы, лежащие в основе творческого процесса, найти, каким образом управлять и влиять на творческое состояние. Представленное в статье ЭЭГ исследование предполагает изучение ряда спорных и нерешенных вопросов в психофизиологии творчества и тесно связанных с ним эмоций, что определяет актуальность этой работы.

Целью проведенного исследования стало изучение специфичных паттернов ЭЭГ-активности у музыкантов в процессе интериоризированного сочинения музыки с различной эмоциональной окраской.

Методика исследования

В исследовании приняли участие 17 испытуемых – студентов Ростовской консерватории им. С.В. Рахманинова в возрасте 17–23 лет, обучающихся по специальности «композиция» и имеющих опыт сочинения музыки.

Для изучения функциональной организации мозга испытуемых во время выполнения музыкальной деятельности использовался метод ЭЭГ. Для регистрации ЭЭГ в 21 отведениях, расположенных по стандартной системе 10–20, использован многоканальный компьютерный электроэнцефалограф ЭЭГА-21/26 «Энцефалан» версия «Элитная-М» 5.4-10-2.0 с частотой опроса 100 Гц, полосой пропускания от 0,5 до 35 Гц. Использована монополярная схема с ипсилатеральными ушными референтными электродами.

У испытуемых регистрировалась фоновая ЭЭГ с закрытыми глазами, а также ЭЭГ в функциональных

пробах (восприятие, воспроизведение и сочинение музыкального произведения). В первой экспериментальной функциональной пробе музыкантам предлагалось в течение 1 мин слушать отрывки классической музыки фиксированной мощности (20 дБ) с мажорной (фрагмент из оперетты Штрауса «Летучая мышь») и минорной (музыкальный отрывок из балета «Пер Гюнт» Э. Грига) эмоциональной окраской. Во второй экспериментальной пробе испытуемым предлагалось воспроизвести про себя услышанный музыкальный отрывок с мажорной и минорной эмоциональной окраской. В третьей пробе перед испытуемыми ставилась задача сочинить собственные мелодии с такой же эмоциональной окраской, как и ранее прослушанные, а после исследования воспроизвести сочиненную мелодию.

Анализировались отрезки ЭЭГ длительностью 10 с, не имеющие артефактов. Рассматривались значения уровней спектральной мощности потенциалов мозга в диапазонах частот: дельта1 (0,5–2 Гц), дельта2 (2–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета1 (13–24 Гц) и бета2 (24–35 Гц), а также когерентные связи биопотенциалов коры мозга между отведениями по каждому диапазону.

Сравнительный анализ различий средних значений показателей спектральной мощности и когерентности ЭЭГ у испытуемых в различных пробах проводился при помощи U-критерия Манна–Уитни. Обработка осуществлялась при помощи пакета компьютерных программ STATISTICA 6.0.

Результаты исследования

В результате сравнительного анализа спектральной мощности ЭЭГ между фоновыми показателями и показателями каждой из функциональных проб (восприятия, воспроизведения и сочинения мелодий) выявлено, что для большинства исследуемых видов музыкальной деятельности характерно повышение мощности высокочастотных бета1 и бета2 ритмов в префронтальной (Fp2, Fpz) и фронтальной зонах (F8) правого полушария, а

также в окципитальных зонах коры левого полушария (O1) (рис. 1–6).

Для процесса сочинения музыки, независимо от знака её эмоциональной окраски, характерно повышение мощности дельта1-ритма во фронтальной зоне левого полушария (F7, F3), причем эта же закономерность характерна и для других видов музыкальной деятельности – восприятия и мысленного воспроизведения, но только для минорного лада (рис. 2–6).

Сочинение музыки с мажорной эмоциональной окраской (рис. 5) сопровождается повышением активности тета- и бета1-ритма во фронтальных зонах левого полушария (F7, F3), а сочинение музыки с минорной эмоциональной окраской (рис. 6) – повышением активности тета- и альфа-ритмов во фронтальной (F4) и нижней темпоральной зоне (T6) правого полушария (предклинье), что отражает активацию корково-подкорковых механизмов восприятия звуковых мотивационных раздражителей по типу слуховой подкорковой доминанты, формирующейся при мысленном сочинении музыки, активизацию процессов доступа и извлечения из памяти информации, связанной с предыдущим эмоциональным опытом, а также анализ эмоциональной значимости перерабатываемой информации в процессе сочинения музыки.

Полученные нами результаты подтверждаются данными ЭЭГ исследования эмоций, где передние области коры левого и правого полушарий связываются с валентной размерностью эмоций [9], а задние (особенно правого полушария) – с процессами эмоциональной активации [1].

При воспроизведении и сочинении мелодий с минорным эмоциональным оттенком обнаружено повышение активности темпоральных зон левого полушария (T3, T5) в низкочастотном дельта1-диапазоне (рис. 4, 6).

В результате сравнительного анализа когерентных связей между фоновыми показателями и показателями функциональных проб «сочинение музыки» выявлено, что в процессе сочинения музыки, независимо от харак-

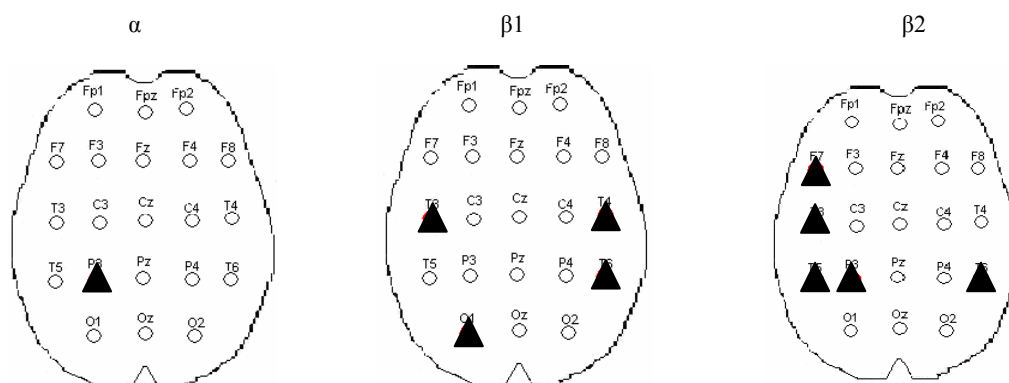


Рис. 1. Статистически достоверные различия спектральной мощности ЭЭГ в сравнении состояний «фон» – «восприятие мажорной музыки». Стрелка вверх на месте соответствующего отведения указывает на большее значение мощности при восприятии мажорной музыки по сравнению с фоном. Достоверность различий $p \leq 0,05$

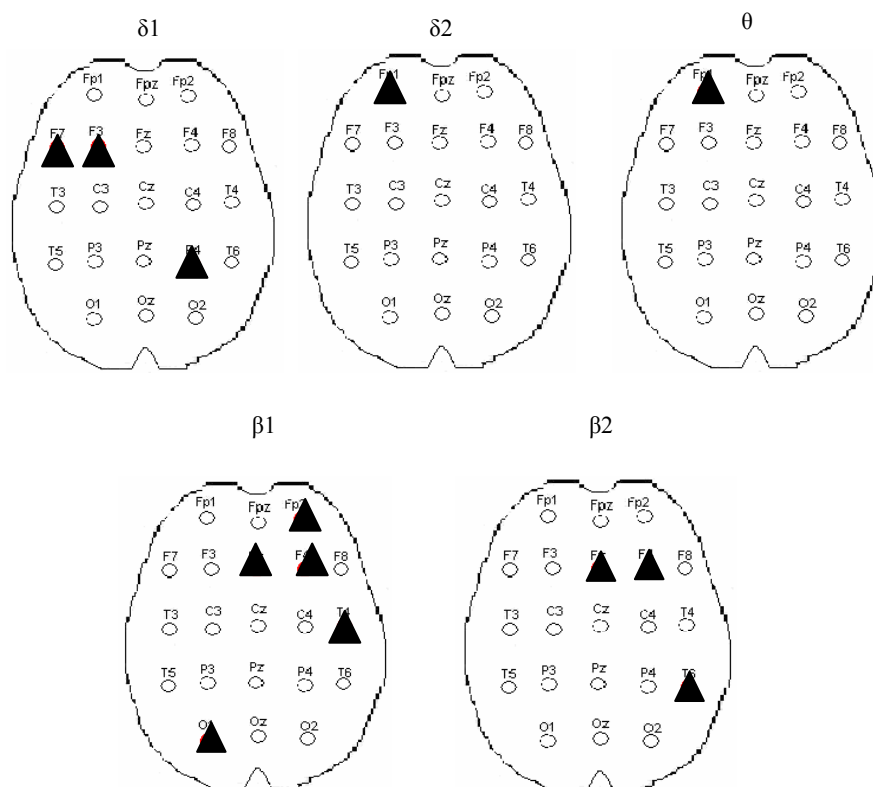


Рис. 2. Статистически достоверные различия спектральной мощности ЭЭГ в сравнении состояний «фон» – «восприятие минорной музыки». Стрелка вверх на месте соответствующего отведения указывает на большее значение мощности при восприятии минорной музыки по сравнению с фоном. Достоверность различий $p \leq 0,05$

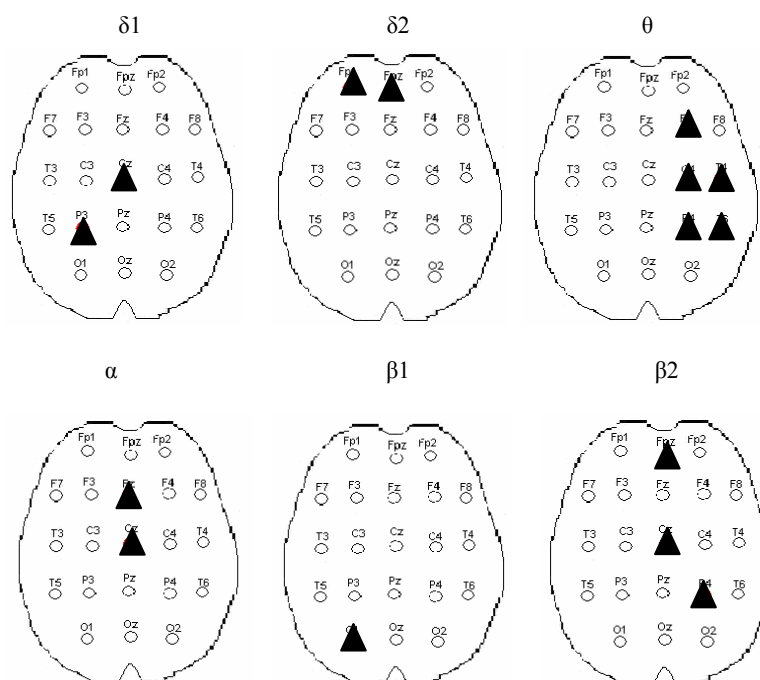


Рис. 3. Статистически достоверные различия спектральной мощности ЭЭГ в сравнении состояний «фон» – «мысленное воспроизведение мажорной музыки». Стрелка вверх на месте соответствующего отведения указывает на большее значение мощности при мысленном воспроизведении мажорной музыки по сравнению с фоном. Достоверность различий $p \leq 0,05$

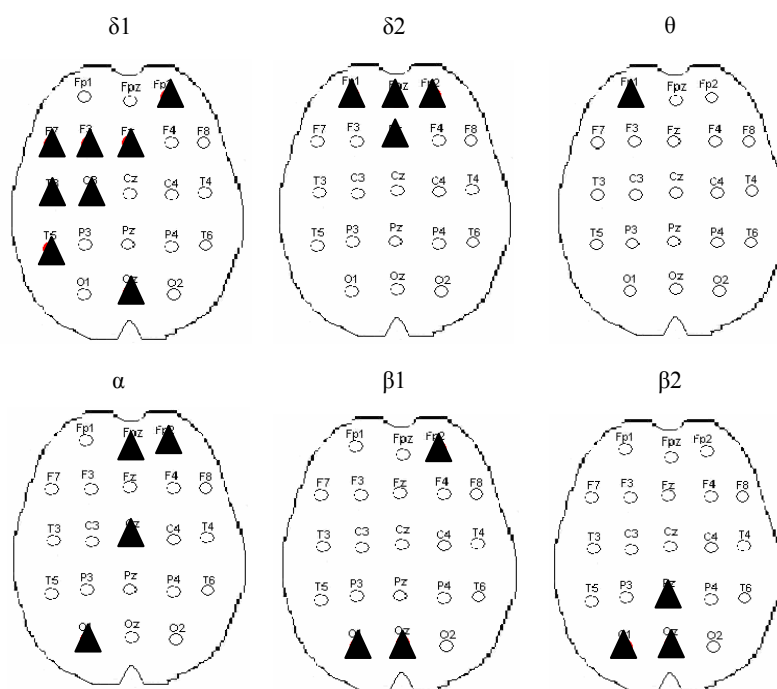


Рис. 4. Статистически достоверные различия спектральной мощности ЭЭГ в сравнении состояний «фон» – «мысленное воспроизведение минорной музыки». Стрелка вверх на месте соответствующего отведения указывает на большее значение мощности при мысленном воспроизведении минорной музыки по сравнению с фоном. Достоверность различий $p \leq 0,05$

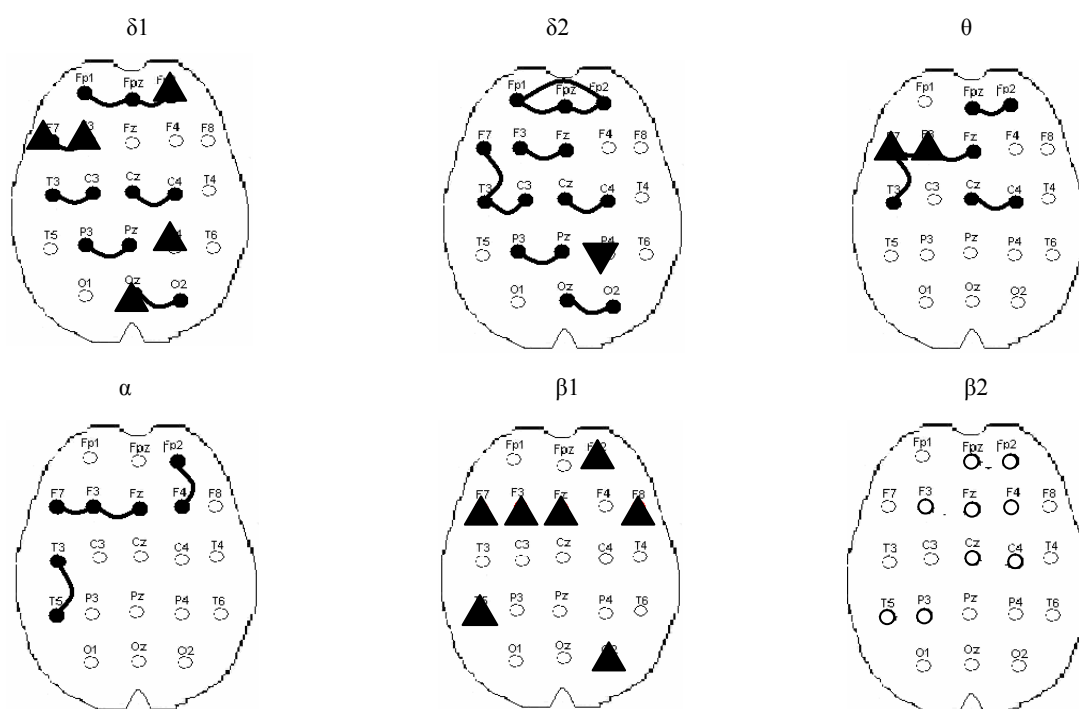


Рис. 5. Статистически достоверные различия спектральной мощности и когерентности ЭЭГ в сравнении состояний «фон» – «сочинение мажорной музыки». Стрелка вверх/вниз на месте соответствующего отведения указывает на большее/меньшее значение мощности при сочинении мажорной музыки по сравнению с фоном. Достоверность различий $p \leq 0,05$

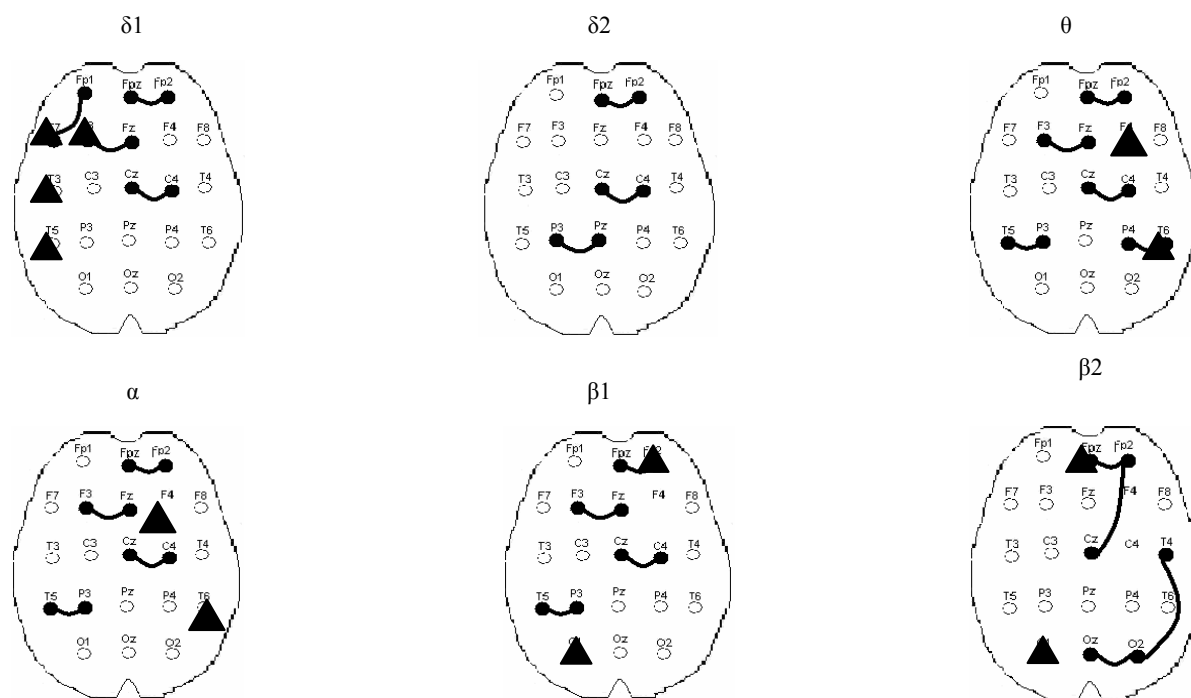


Рис. 6. Статистически достоверные различия спектральной мощности и когерентности ЭЭГ в сравнении состояний «фон» – «сочинение минорной музыки». Стрелка вверх на месте соответствующего отведения указывает на большее значение мощности при сочинении минорной музыки по сравнению с фоном. Достоверность различий $p \leq 0,05$

тера её эмоциональной окраски, наблюдается увеличение значений когерентности между префронтальными (Fpz–Fp2) и центральными (Cz–C4) зонами коры правого полушария в дельта1-, дельта2- и тета-диапазонах, а также между парietальными (P3–Pz) зонами правого полушария в дельта2-диапазоне.

Для процесса сочинения музыки с мажорной эмоциональной окраской характерно возникновение значимых когерентных связей в дельта1- и дельта2-диапазонах между фронтальными, а также между темпоральными и центральными зонами коры левого полушария (Fp1–Fpz, F7–F3, T3–C3); в тета-диапазоне – между фронтальными и темпоральными зонами (F7–F3, F3–Fz, F7–T3) левого полушария и в альфа-диапазоне между фронтальными зонами обоих полушарий (F7–F3, F3–Fz, Fp2–F4) и темпоральными зонами левого полушария (T3–T5). При этом число значимых когерентных связей в левом полушарии значительно больше, чем в правом, что отражает паттерн ЭЭГ-активации, характерный для переживания положительных эмоций, которые присутствуют в процессе создания мелодий с мажорной эмоциональной окраской (рис. 5).

В процессе сочинения музыки с минорной эмоциональной окраской выявлены значимые короткодистантные когерентные связи в дельта1-, тета-, альфа- и бета1-диапазонах во фронтальных (F3–Fz), в тета-, альфа- и бета1-диапазонах в темпорально-парietальных (T5–P3) зонах левого полушария, во всех исследованных частотных диапазонах в префронтальных (Fpz–Fp2) и во всех диапазонах, кроме бета2, в центральных (Cz–C4) зонах

правого полушария, а также в бета2-диапазоне в окципитальных отделах правого полушария (Oz–O2). Кроме того, зафиксированы длиннодистантные когерентные связи между фронтальными и центральными, темпоральными и окципитальными зонами коры правого полушария в бета2-диапазоне (Fp2–Cz, T4–O2) правого полушария (см. рис. 6).

Обсуждение результатов

Рассматривая результаты сравнения паттернов ЭЭГ-активации, полученные в фоновых и экспериментальных пробах, мы исходим из современных представлений о дельта-колебаниях не только как коррелятах сниженного функционального состояния (сон, патология), но и как сопутствующих компонентах активного состояния [1]. Дельта-ритм отражает деятельность фронтолимбической системы мозга. При извлечении из памяти эмоциональных образов в процессе генерации эмоций наблюдается усиление мощности в дельта-диапазоне. Констатируется факт вовлечения нейронных сетей, осциллирующих на частоте дельта-активности, в процессы обнаружения аффективной значимости сигнала [1]. Усиление низкочастотной активности в теменно-височно-затылочных областях коры отражает механизмы восприятия ритма, а также переработку сложных музыкальных характеристик (гармония, мелодия, ритм) в этих слуховых ассоциативных зонах [6]. У профессиональных музыкантов и у людей, постоянно слушающих музыку, активность и объём височных отделов слуховой ассоциативной коры

значительно больше, чем у других людей [8]. Согласно клиническим данным повреждение височной и лобной доли левого полушария способно нарушить распознавание и воспроизведение ритмических структур, привести к утрате способности различать ритмический рисунок мелодии [11, 12].

Различные аспекты переработки музыкальной информации связаны с деятельностью многочисленных мозговых структур, одни из которых обеспечивают восприятие музыки (например, височные доли мозга функционально связаны с пониманием мелодии), а другие опосредуют развитие эмоциональных реакций (подкорковые структуры и лобные доли коры) [8].

В нашем исследовании повышение активности и значительной когерентности тета-ритма в теменно-затылочной области мы рассматриваем как отражение процесса активизации доступа и извлечения из памяти эмоциональной информации, процесс поиска новых, оригинальных решений. Как отмечает О.М. Разумникова, выполнение креативных заданий связано с повышением когерентности в темпорально-париетальных отделах коры в тета1-диапазоне [7].

Активность альфа-ритма ассоциируется с текущим функциональным состоянием человека, на которое оказывает воздействие характер музыки (её мощность, стиль). Так, выявлено, что при восприятии классической музыки средней мощности (около 30–60 дБ) в альфа1-частотном диапазоне наблюдается узколокализованное повышение спектральной мощности во фронтальных, темпоральных и окципитальных областях коры в правом полушарии и снижение значений спектральной мощности в дельта- и гамма-диапазонах преимущественно в левом полушарии [2]. В нашем исследовании наблюдались подобные паттерны ЭЭГ-активации в альфа-диапазоне. При сочинении музыки с минорной эмоциональной окраской возрастала мощность во фронтальных (F4) и заднетемпоральных (T6) зонах правого полушария.

Известно, что выраженность бета-ритма возрастает при умственном напряжении, эмоциональном возбуждении. В нашем исследовании повышение активности в бета1- и бета2-частотных диапазонах в префронтальной области правого полушария и окципитальной области левого полушария можно рассматривать как отражение активации творческого процесса при создании музыкального рисунка мелодии. Это подтверждается исследованиями, в которых выявлено, что правильную конструкцию языкового и музыкального синтаксиса (набор правил, определяющий надлежащее соединение элементов – нот и слов соответственно) обеспечивает участок фронтальной коры, а другие участки отвечают за переработку связанных с ним компонентов языка и музыки [13]. Н.П. Бехтерева также указывает, что при решении творческих дивергентных заданий в правой лобной доле (ПБ 10, 11, 44, 45, 46, 47), а также в теменно-затылочных областях слева (ПБ 37, 7, 19) прослеживалось локальное повышение кровотока [4].

В исследовании О.М. Разумниковой значительное увеличение бета2-ритма как коррелята успешного дивергентного мышления отмечалось во фронтальных и теменных зонах (Pr1, T3 и T6) [7].

При этом наблюдается мозаичный характер организации нейронных ансамблей с диффузно-представленной синхронизацией в бета2-диапазоне, которая есть коррелят «дифференцированного внимания», обеспечивающего широко распределённые по разным участкам коры процессы селекции информации, необходимые для решения проблем открытого типа – в нашем случае создания музыкального произведения [7, 14]. Установлено, что правое полушарие, участвующее в симультанной обработке информации, обеспечивает восприятие целостной мелодии [15].

В исследовании эмоционального воздействия на мозг музыкальных аккордов отмечается, что ответная реакция при восприятии минорных аккордов по сравнению с мажорными проявлялась в повышенной активности миндалины, ретроспинальной коры, ствола мозга и мозжечка [9, 10]. На важности ретроспинальной области в процессе обеспечения эмоций указывала и Н.П. Бехтерева [4].

Выводы:

1. В результате проведённого исследования изучена специфика частотно-пространственной организации ЭЭГ у музыкантов при мысленном сочинении музыкальных произведений и выявлены её особенности в зависимости от характера эмоциональной окраски.
2. Эмоционально-ритмический характер мысленно создаваемого музыкального произведения отражается в активности низкочастотного дельта-ритма во фронтально-темпоральных зонах левого полушария.
3. Активизация процессов извлечения из памяти эмоциональных образов, поиска новых, оригинальных решений, связанных с прошлым эмоциональным опытом во время сочинения музыки, сопровождается повышением активности и когерентности тета-ритма в париетально-окципитальной зоне коры мозга.
4. Активация творческого процесса создания музыкального рисунка мелодии в соответствии с правилами музыкального синтаксиса и в контексте возникающих эмоционально-переживаемых образов сопровождается повышением активности бета1- и бета 2-ритма во фронтальной зоне правого и окципитальной зоне левого полушария.
5. Сочинение музыки с мажорной эмоциональной окраской сопровождается повышением активности низко- и высокочастотных ритмов ЭЭГ преимущественно во фронтальных отделах, а также усилением короткодистантных когерентных связей в передних отделах коры левого полушария мозга. Сочинение музыки с минорной эмоциональной окраской сопровождается повышением активности низкочастотных ритмов ЭЭГ во фронтальных и темпоральных отделах коры правого полушария и усилением в низкочастотных диапазонах

короткодистантных, а в высокочастотных – длинно-дистантных когерентных связей преимущественно в правом полушарии.

Полученные в исследовании нейрофизиологических коррелятов музыкальной творческой деятельности результаты могут быть использованы в сфере образования для развития музыкальной и умственной одаренности учащихся; в практической работе психологов при разработке музыкальных методик нейропсихологической коррекции и реабилитации детей с трудностями обу-

чения, при разработке новых технологий музыкальной психотерапии, развития творческих способностей при помощи биологической обратной связи; в различных видах профессиональной деятельности с целью оптимизации функционального состояния операторов, релаксации, развития когнитивных функций руководителей, в системе профориентации для музыкантов; в медицинских целях – для высвобождения творческого потенциала пациента, преодоления ряда болезней и восстановления.

Литература

1. Анализ вызванной синхронизации и десинхронизации ЭЭГ при эмоциональной активации у человека: временные и топографические характеристики / Л.И. Афтанас, Н.В. Рева, А.А. Варламов, С.В. Павлов, В.П. Махив // Журнал высшей нервной деятельности. 2003. Т. 53, № 4. С. 485–494.
2. Анализ когерентности ЭЭГ при прослушивании музыки / Р.А. Павлыгина, В.И. Давыдов, А.В. Сулимов, Ю.В. Любимова, Д.С. Сахаров // Журнал высшей нервной деятельности. 2003. Т. 53, № 4. С. 402–409.
3. Бехтерева Н.П., Медведев С.В., Данько С.Г. Методология исследования нейрофизиологических механизмов творчества: условия, перспективы и внутренние сложности // Физиология человека. 2000. Т. 26, № 5. С. 12–18.
4. Бехтерева Н.П. Магия творчества и психофизиология: Факты, соображения, гипотезы // Когнитивные исследования: Сб. науч. тр. / Под ред. В.Д. Соловьева, Т.В. Черниговской. М.: Ин-т психологии РАН, 2008. Вып. 2. С. 9–31.
5. Карлсон И. Креативность: личностный, нейробиологический и когнитивный аспекты // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2005. Т. 2, № 4. С. 122–131.
6. Панюшева Т.Д. Музыкальный мозг: обзор отечественных и зарубежных исследований // Асимметрия (рецензируемый научно-практический журнал). 2008. Т. 2, № 3.
7. Разумникова О.М. Мышление и функциональная асимметрия мозга. Новосибирск: Изд-во СО РАМН, 2004. 272 с.
8. Уэйнбергер Н. Музыка и мозг // В мире науки. 2005. № 2.
9. Davidson R.J. Affective style and affective disorders: perspectives from affective neuroscience // Cognit. Emot. 1998. Vol. 12. P. 307–330.
10. Emotion processing of major, minor, and dissonant chords: a functional magnetic resonance imaging study / K.J. Palsen, E. Brattico, C. Bailey, A. Korvenoja, J. Koivisto, A. Gjedde, S. Ann. N. Carlson // J. Acad. Sci. 2005. Dec. № 1060. P. 450–453.
11. Malvov L. Amusia due to rhythm agnosia in musician with left hemisphere damage: a non-auditory supramodal defect // Cortex. 1989. Vol. 16, № 2. P. 331–338.
12. Midorikawa A., Kawamura M., Kezuka M. Musical alexia from rhythm notation: a discrepancy between pitch and rhythm // Neurocase. 2003. Vol. 9, № 3. P. 232–238.
13. Patel A.D. Music, Language and the Brain. Oxford: Oxford University Press, 2008. 520 p.
14. Petsche H. Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis // Int. J. Psychophysiol. 1996. Vol. 24, № 1–2. P. 145–159.
15. Semmes J. Hemispheric specialization: A possible clue to mechanism // Neuropsychologia. 1968. № 6. P. 11–26.

NEUROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF THE MUSICAL CREATIVE ACTIVITY

Dikaya L.A. (Rostov-on-Don)

Summary. Results of an experimental research of specific patterns EEG-activity at the students of conservatory trained on a speciality «composition», in the course of the mental composition of melodies with various emotional colouring are presented. EEG-correlates of music composing and other kinds of musical activity – perception, mental reproduction of melodies are compared. The correlation of neurophysiological mechanisms of musical creativity and other kinds of nonverbal creativity is discussed.

Key words: creative activity; music composing; EEG spectral power.