

Динамика пространственной синхронизации биоэлектрической активности мозга у детей с задержкой психического и речевого развития в процедурах биоакустической коррекции БАК

21 декабря 2018

Авторы:

Константинов К.В., Мирошников Д.Б., В.М. Шайтор, Ю.Б. Белозерова

ГУ НИИ экспериментальной медицины РАМН, Санкт-Петербург, ГУ

НИИ экспериментальной медицины РАМН, Санкт-Петербург, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И.

Мечникова, Санкт-Петербург, Институт мозга человека РАН, Санкт-Петербург

Опубликовано: Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016, №2, с. 60 – 65

Хорошо известно лечебное действие музыки на организм человека. Аналитические обзоры нейрофизиологических данных последних лет свидетельствуют о неослабевающем интересе к проблеме специфического воздействия музыки на мозг [17, 29, 30]. В литературе сообщается об «эффекте Моцарта», положительном воздействии музыки Гайдна, Листа и других композиторов на эффективность выполнения пространственно-временных задач, а также способность подавлять эпилептиформную активность [25, 32]. Терапевтическим эффектом обладает музыка не только немецких композиторов. В музыкотерапии широко используются самые разные произведения классической, этнической и современной музыки, включая такие оригинальные стили как хип-хоп и ритмичный речитатив (рэп) [29].

Анализируя данные о механизмах музыкальных воздействий, исследователи обращают внимание на сходство организации нейронных и музыкальных ритмов, отмечается совпадение частот музыкальных ритмов и нижних частот нейрональных осцилляций таламокортикальных цепей, а также подобие иерархической организации нейронной активности и ритмических компонентов музыки [30]. Более того, исследователи подчеркивают анатомическую обусловленность музыкального восприятия. Во-первых, за счет дифференцированной обработки тональной (мелодической) и ритмической информации разными таламическими структурами и кортикальными слоями и, во-вторых, интеграции этих музыкальных компонентов в таламокортикальных петлях. При этом мелодике или частотной информации отводится роль основного содержания с соответствующей доставкой этой информации в слуховую кору через прямые входы к четвертому слою нейронов, а ритму – контекста, преимущественно модулирующего характера, с соответствующим прохождением в слуховую кору через модулирующие входы второго и третьего нейронных слоев. [26, 27, 28]. Особенности частотно-временной структуры музыкальных сигналов, которая подобна частотно-временной структуре импульсных потоков нейронов и анатомическая обусловленность эффективной обработки музыкально-организованных звуков указывают на то, что в основе механизмов терапевтического влияния музыки лежат процессы синхронизации между афферентными влияниями и эндогенными нейродинамическими процессами.

Вопросам синхронизации нейродинамических процессов и физиологической значимости этого явления в литературе уделено много внимания. Показано, что явления синхронизации играют ключевую роль в механизмах высших интегративных функций мозга [1, 11, 21]. Это касается как эндогенных нейродинамических процессов, так и нейронной активности вызванной внешними раздражителями. Например, выработка условного рефлекса возможна при определенном уровне синхронизации (сочетании) внешних раздражителей: условного и

безусловного [15]. Фактор времени или временное совпадение различных активаций рассматривается как важнейшее условие долговременного изменения синаптической эффективности [2]. Примером значимости эндогенной синхронизации является сообщение о том, что активация внимания и сознательно прогнозируемые произвольные движения сопровождаются синхронизированными разрядами нейронов неспецифического и моторного таламуса [14]. Процессы синхронизации нейронной активности рассматривают в качестве одного из важных механизмов таламо-кортикальной интеграции [23, 33]. Не менее значима для мозга синхронизация эндогенной нейронной активности с внешними раздражителями [31]. Показаны различные эффекты предъявления сенсорных стимулов синхронно с колебаниями ЭЭГ в режиме триггерной стимуляции [4, 5]. Исследована зависимость эффектов триггерной фотостимуляции от синхронизации с различными фазами альфа-волны [3]. Делается вывод, что эффекты фотостимуляции определяются тем, с какой фазой пачечной нейрональной активности таламо-кортикальных петель сочетается нейронная активность, вызванная сенсорным стимулом. В этой связи, не вызывает сомнений, что афферентная импульсация, сочетаясь с определенными фазами спонтанной нейронной активности выраженной в тех или иных графоэлементах биоэлектрической активности мозга приводит к реструктуризации последней. Так же очевидна зависимость этой реструктуризации от уровня синхронизации исходной биоэлектрической активности мозга с афферентным потоком.

Ранее нами сообщалось, что в процедурах биоакустической коррекции (БАК) при прослушивания звуков синхронизированных и согласованных с собственной ЭЭГ наблюдается изменение баланса катехоламинов и серотонина в сыворотке крови [9]. Так же показано, что применение метода БАК у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивностью уменьшает количество клинических признаков заболевания: невнимательности, импульсивности и гиперактивности [16]. Сообщалось и о других терапевтических эффектах акустического

воздействия скоррелированного с собственной биоэлектрической активностью мозга [8, 20]. В настоящей работе мы представляем результаты, полученные с использованием модификации метода БАК, позволяющей применять его в комплексной реабилитации детей с задержкой психического и речевого развития.

Биоакустическая коррекция является нелекарственным методом лечения, позволяющим (практически при отсутствии побочных эффектов) восстанавливать психоэмоциональное состояние за счет активации эндогенных процессов саморегуляции. В методе БАК осуществляется сенсорная стимуляция структур мозга связанных с процессами мотивации и подкрепления, что достигается предъявлением акустических стимулов музыкального диапазона, параметры которых согласованы с параметрами текущей биоэлектрической активности головного мозга пациента.

В литературе высказывается гипотеза о том, что речевая функция является частным случаем музыкальных способностей [29]. Также обращается внимание на то, что в обработке речевой и музыкальной информации есть много общих моментов [30]. В этой связи, в настоящей работе для специфической активации структур мозга ответственных за организацию речи, вместе с набором музыкальных звуков применялся набор вербальных стимулов, предъявление которых также согласовывалось с текущей биоэлектрической активностью мозга пациента. Цель работы заключалась в исследовании процессов пространственной синхронизации ЭЭГ детей с задержкой психического и речевого развития в условиях процедур биоакустической коррекции с вербальной стимуляцией.

Методы

Обследовано 36 детей с задержкой психического и речевого развития церебрально-органического генеза: 26 мальчиков и 10 девочек в возрасте от 4 до 6 лет. Основная группа детей (ОГ), 25 человек, проходила курс процедур биоакустической коррекции, которые заключались в прослушивания детьми акустического образа собственной ЭЭГ в реальном времени. В контрольной группе (КГ), 11 детей, прослушивали запись акустического образа ЭЭГ здорового ребенка сделанную заранее.

Регистрация и преобразование ЭЭГ в звуковой образ проводились с помощью компьютерного комплекса «Синхро-С». Биоэлектрическую активность головного мозга регистрировали в точках Fp1, Fp2, O1, O2 (по системе 10-20) относительно объединенного ушного электрода с частотой дискретизации 250 Гц при закрытых глазах. Все каналы регистрации ЭЭГ преобразовывались в акустический образ одновременно и независимо. Полученные звуки предъявлялись в соответствии со стороной регистрации ЭЭГ. Длительность сеанса составляла 20 минут.

Преобразование ЭЭГ в акустический образ осуществлялось на основе операции согласования значений периодов колебаний ЭЭГ с множеством звуковых сэмплов, где каждому периоду колебания ЭЭГ в диапазоне от 1 до 30 Гц соответствовал звуковой сэмпл с определенной частотой основного тона [6]. Отношения частот основных тонов звуковых сэмплов соответствовали темперированному музыкальному строю, что придавало акустическому образу ЭЭГ выраженный музыкальный характер. Предъявление звуковых сэмплов происходило синхронно с текущей ЭЭГ, при этом частота основного тона предъявляемого звука соответствовала значению периода текущего колебания ЭЭГ.

В соответствии с задачей активации речевых функций, биоэлектрическая активность мозга по каналу O1 озвучивалась вербальными стимулами, при этом, множеству значений периодов колебаний ЭЭГ соответствовало множество вербальных сэмплов. Набор вербальных сэмплов был заранее согласован с логопедами и состоял из простых наиболее употребительных слов, например: «мама», «папа», «дом», «каша» и другие.

Предъявление слов производилось синхронно с текущей ЭЭГ, но не раньше окончания предыдущего вербального стимула. Таким образом, вербальные стимулы не смешивались друг с другом. Кроме того, для регулирования интенсивности вербальной стимуляции, между вербальными стимулами было введено временное окно, в течение которого подача следующего вербального стимула не производилась [7]. Средняя величина временного окна составляла 1500 мс. При сокращении временного окна до значений менее 1000 мс, у ребенка могла возникнуть негативная эмоциональная реакция. Предъявление вербальных стимулов производилось бинаурально и одновременно с «музыкальным» озвучиванием ЭЭГ по другим каналам.

Продолжительность процедуры в среднем составляла 20 мин. Вербальный режим включался на 10-й минуте процедуры и продолжался около 10-ти минут. В контрольной группе дети прослушивали только запись акустического образа чужой ЭЭГ. Параметры записи соответствовали прочим параметрам процедур в основной группе: продолжительность 20 минут, включение вербального режима с 10-й минуты. Сеансы проводились через день. Каждый ребенок проходил от 10 до 15 сеансов. На фоне проведения процедур все дети основной и контрольной групп проходили занятия с логопедом.

Оценка уровня пространственной синхронизации ЭЭГ производилась на основе анализа кросскорреляционных функций. Для пар отведений: Fp1-Fp2, Fp1-O1, Fp1-O2, Fp2-O1, Fp2-O2, O1-O2 осуществлялся поиск максимума кросскорреляционной функции. Если максимум кросскорреляционной функции наблюдался в нулевой точке по оси абсцисс и превышал значение 0,3 по оси ординат, то для данного временного отрезка ЭЭГ, анализируемая пара процессов считалась синхронной. Длительность эпохи анализа составляла две секунды. Вычислялась доля синхронных участков ЭЭГ на последовательных безартефактных эпохах. Для каждой пары отведений анализировалось 60 эпох от начала процедуры прослушивания акустического образа ЭЭГ. В задачу данной работы

входила оценка динамики пространственной синхронизации ЭЭГ в ходе курса биоакустической коррекции. В этой связи, вычислялся средний уровень синхронизации для первой и последней процедуры в основной и контрольной группах.

Для оценки общего функционального состояния, на основе периодометрического анализа вычислялось среднее значение доли периодов колебаний ЭЭГ альфа-, бета-, тета- и дельта-диапазонов для каждой точки регистрации на эпохе анализа равной 2 минутам от начала процедуры.

Статистический анализ проводился с использованием программного пакета «STATISTICA». Проверка нормальности распределений полученных массивов осуществлялась по критерию Колмогорова-Смирнова. Оценка достоверности вычислялась по t-критерию Стьюдента и непараметрическому критерию Вилкоксона для парных выборок.

Результаты

Перед курсом процедур биоакустической коррекции у большинства детей основной и контрольной групп наблюдалась неразборчивость речи с невозможностью выговаривания ряда звуков. Скучный словарь, произносят только отдельные слова и фразы, обобщать не могут. Речь не выступает, как средство общения. У одного ребенка из основной группы речь отсутствовала, наблюдались односложные ответы «да» или «нет», много жестикуляции. В сфере взаимоотношений до процедур БАК взаимодействия со взрослыми были ситуативные и зависели от удовлетворения личных потребностей. С детьми контакта не наблюдалось, в лучшем случае рассматривали действия детей. Могли принять участие в совместных подвижных играх, но цели игры не понимали, просто бегали. К явлениям природы и социального мира интереса не проявляли. В мотивационной сфере до процедур БАК

познавательный интерес носил неустойчивый, ситуативный, кратковременный и произвольный характер. По параметру агрессивности до процедур БАК наблюдали выраженные импульсивные агрессивные действия по отношению к близким. В ряде случаев наблюдалась аутоагрессия. В эмоциональной сфере до процедур БАК наблюдался индифферентный, безразличный фон настроения с неадекватными колебаниями. Эмоции незрелы, что проявлялось в неадекватности и уплощенности эмоциональных проявлений, также наблюдался узкий круг эмоциональных предпочтений.

В конце курса процедур биоакустической коррекции с вербальной стимуляцией у всех детей основной группы наблюдалось увеличение четкости и разборчивости речи, дети стали больше говорить. Отмечается увеличение активного словаря, появляются слова, как средство общения. У некоторых детей наблюдалась повышенная разговорчивость. Ребенок с отсутствовавшей речью свободно связывает по два-три слова в предложении. Для большинства детей «скачок» в речевой активности наблюдался после 3 — 4 процедуры с продолжающимся нарастанием речевой активности к концу курса процедур.

К концу курса процедур БАК дети становятся более общительными, обращают внимание на игру детей, начинают подражать. Не противятся контакту со взрослыми, могут невербально выполнить по просьбе действие. Однако взаимодействия со сверстниками оставались малосодержательны. Появляется интерес к игрушкам, книгам и к окружающему. Остается незначительная склонность к агрессивным реакциям только в конфликтных ситуациях и в момент чрезмерного эмоционального напряжения. Наблюдается умеренная лабильность фона настроения. Появляются эмоциональные реакции, но они еще поверхностные и обедненные. Отмечаются типовые, стереотипные эмоциональные проявления.

В целом, в ходе процедур БАК в основной группе наблюдалось снижение нарушений эмоционально-волевой сферы и увеличение речевой активности.

В контрольной группе детей, которые прослушивали чужую запись акустического образа ЭЭГ подобных изменений за аналогичный промежуток времени (около 30 дней) не наблюдалось. Нарушения эмоционально-волевой сферы сохранялись. Заметных изменений в речевой сфере также не выявлено. В ряде случаев сразу после процедуры наблюдалось кратковременное увеличение речевой активности, которое в дальнейшем не сохранялось. Многолетняя практика лечения детей с задержкой психического и речевого развития показывает, что достоверные положительные сдвиги психического развития могут наблюдаться только после 6-ти месячного курса лечебных мероприятий включающих медикаментозное лечение с логопедией.

В ЭЭГ в основной и контрольной группах по усредненным показателям биоэлектрической активности мозга за первые 2 минуты процедуры в лобных отведениях в начале курса доминировала активность бета-диапазона, около 40%, наблюдалось значительное количество дельта-волн, около 10%, активность в диапазонах альфа- и тета-волн составляла по 25%. В затылочных отведениях альфа-ритм в большинстве случаев отсутствовал или регистрировались отдельные альфа-волны, преобладала полиморфная активность. Наблюдалось приблизительное равенство доли периодов колебаний альфа-диапазона — 33%, бета-диапазона — 32% и тета-диапазона — 28%. В диапазоне дельта-волн доля периодов колебаний ЭЭГ составляла около 7%.

В курсе процедур прослушивания акустического образа собственной ЭЭГ в основной группе в лобных отведениях наблюдалось уменьшение доли альфа-ритма с $27,5 \pm 4,5\%$ до $25,0 \pm 5,5\%$ ($p < 0,05$) слева и с $27,6 \pm 4,5\%$ до $25,0 \pm 4,1\%$ ($p < 0,05$) справа. В тета-диапазоне наблюдалось увеличение доли периодов колебаний ЭЭГ справа с $22,5 \pm 4,2\%$ до $26,0 \pm 7,1\%$ ($p < 0,05$). В

затылочных отведения зарегистрировано увеличение доли периодов колебаний бета-диапазона справа с $29,9 \pm 10,2\%$ до $34,5 \pm 12,1\%$ ($p < 0,05$).

В контрольной группе детей, которые прослушивали запись акустического образа чужой ЭЭГ, наблюдалось уменьшение альфа-ритма в правом лобном отведении с $28,5 \pm 2,2\%$ до $24,5 \pm 3,1\%$ ($p < 0,05$), а также уменьшение активности тета-диапазона в правом лобном отведении с $25,1 \pm 4,2\%$ до $23,2 \pm 4,1\%$ ($p < 0,05$). В остальных отведениях и частотных диапазонах ЭЭГ достоверных изменений не наблюдалось.

Исходно в основной и в контрольной группах наблюдается примерное равенство значений пространственной синхронизации. Наибольшие значения синфазности наблюдаются в межполушарных параллельных парах отведений (Fp1-Fp2 и O1-O2), наименьшие значения синхронизации получены для точек регистрации ЭЭГ расположенных по диагонали (Fp1-O2 и Fp2-O1). Уровни синхронизации внутриполушарных пар занимают промежуточные значения. В начале курса процедур в основной и в контрольной группах достоверной разницы между парами Fp1-Fp2 и O1-O2 не выявлено.

В ходе процедур прослушивания акустического образа собственной ЭЭГ в основной группе наблюдается увеличение уровня пространственной синхронизации лобных отведений, и уменьшение пространственной синхронизации затылочных отведений. В диагональных парах достоверных изменений уровня синфазности не выявлено.

В контрольной группе к концу курса процедур значимых изменений пространственной синхронизации не обнаружено.

Обсуждение

В ходе проведения курса процедур прослушивания детьми акустического образа собственной ЭЭГ в реальном времени наблюдается восстановление эмоционально-волевой сферы с существенным увеличением речевой активности. Эти изменения сопровождаются реструктуризацией параметров ЭЭГ. В большей мере изменения частотной структуры ЭЭГ затрагивают правое полушарие. Наблюдается снижение активности альфа-диапазона и увеличение активности тета-диапазона в лобных отведениях, увеличение бета-активности затылочного отведения. Наблюдаемые изменения частотной структуры ЭЭГ можно интерпретировать как переходный процесс. Более подробная интерпретация полученных изменений частотной структуры ЭЭГ детей на сегодня нам представляется преждевременной.

В литературе сообщается, что повышение мощности медленноволновых компонент соответствует увеличению степени тяжести отставания в развитии, подчеркивается, что преобладание медленных составляющих ЭЭГ в основном затрагивают левое полушарие [10]. В нашем исследовании мы наблюдали рост тета-активности в правом лобном отведении. Увеличение активности тета-диапазона описано в литературе в ходе лечения детей с ЗПР с применением транскраниальной микрополяризации [13] и может свидетельствовать об активации структур лимбической системы.

Наибольшее внимания заслуживает динамика пространственной синхронизации. Согласно нейрофизиологическим данным, для нормального функционального состояния характерна повышенная синфазность лобных отведений и заметный фазовый сдвиг ЭЭГ затылочных отделов [12, 18, 19], то есть преобладание уровня синхронизации лобных отделов над затылочными. В ходе процедур прослушивания акустического образа собственной ЭЭГ наблюдалось увеличение синфазности лобных отделов и снижение синфазности затылочных отведений. Следовательно, наблюдаемая динамика пространственной синхронизации может быть интерпретирована как

нормализация. Изменение уровня синхронизации лобных и затылочных отведений в сторону нормализации может указывать на процессы восстановления таламокортикальных взаимодействий [18]. Можно предположить, что в большей мере эти изменения затрагивают фронтоталамическую систему, важная роль которой показана для реализации сложных форм психической деятельности и регуляции уровня бодрствования [24].

Таким образом, предъявление звуков синхронизированных с текущей биоэлектрической активностью мозга способно активировать процессы восстановления психической деятельности. Исходная комплиментарность музыкальных звуков нейродинамическим процессам обуславливает высокую эффективность такого воздействия. Одновременная активация речевых функций за счет вербальной стимуляции, также синхронизированной и согласованной с текущей ЭЭГ, ускоряет процесс восстановления психической деятельности в еще большей мере.

Заключение

Предъявление музыкальных звуков синхронизированных и согласованных с собственной ЭЭГ совместно с вербальными стимулами также скоррелированными с биоэлектрической активностью мозга способствует восстановлению эмоционально-волевой сферы и увеличению речевой активности детей с задержкой психического и речевого развития. Нормализация психического состояния детей сопровождается увеличением пространственной синхронизации биоэлектрической активности мозга лобных отделов и уменьшением пространственной синхронизации затылочных отделов.

Литература

1. Абарбанель Г.Д., Рабинович М.И., Сельверстон А., Баженов М.В., Хуэрта Р., Сущик М.М., Рубчинский Л.Л. Синхронизация в нейронных ансамблях. Успехи физиол. наук. 166 (4): 363-390. 1996.
2. Балабан П.М., Коршунова Т.А. Сетевые, клеточные и молекулярные механизмы пластичности в простых нервных системах. Успехи физиол. наук. 42 (4): 3-19. 2011.
3. Белов Д.Р., Гетманенко О.В., Колодяжный С.Ф., Кануников И.Е. Латеральное торможение в нейрональных сетях и форма волн альфа-ритма. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 94 (2): 152 -162. 2008.
4. Каменкович В.М., Барк Е.Д., Шевелев И.А., Шараев Г.А. Связь зрительных иллюзий с частотой и фазовым сдвигом ритмической фотостимуляции. Журн. высш. нервн. деятельности. 47 (3): 496-503. 1997.
5. Каменкович В.М., Барк Е.Д., Верхлютов В.М., Шевелев И.А., Михайлова Е.С. Шараев Г.А. Зрительные иллюзии, вызванные ритмическими вспышками, и «движение» по коре волн альфа-активности. Журн. высш. нервн. деятельности..48 (3): 449-457. 1998.
6. Константинов К.В. Способ нормализации психофизиологического состояния. Патент РФ №2410025 от 17.02.2009.
7. Константинов К.В. Способ активации речевых функций головного мозга. Патент РФ № 2492839 20.04.2012.
8. Константинов К.В., Грицишина М.А., Нефедова Г.Э. Восстановление когнитивных функций у больных с органическими поражениями

головного мозга в комплексной медицинской реабилитации.

Клиническая медицина. 2012. №5. С. 36 – 39.

9. Константинов К.В., Карпенко М.Н., Леонова М.К. Динамика уровня серотонина в сеансах прослушивания акустического образа собственной ЭЭГ. Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014, №7, с.32-37.

10. Кожушко Н.Ю., Евдокимов С.А., Матвеев Ю.К., Терещенко Е.П., Кропотов Ю.Д. Исследование локальных особенностей ЭЭГ у детей с нарушениями психического развития методом независимых компонент. Физиология человека. 40 (5): 30-37. 2014.

11. Ливанов М.Н. Нейронные механизмы в памяти. Успехи физиол. наук. 6 (3): 66-76. 1975.

12. Лохов М.И., Фесенко Ю.А., Рубин М.Ю. Плохой хороший ребенок. Проблемы развития, нарушения поведения, внимания письма и речи. СПб, 2008.

13. Пинчук Д.Ю. Транскраниальные микрополяризации головного мозга: клиника, физиология. Санкт-Петербург 2007.

14. Седов А.С., Медведник Р.С., Раева С.Н. Значение локальной синхронизации и осцилляторной активности нейронов таламуса в целенаправленной деятельности человека. Физиология человека. 40 (1): 5-12. 2014.

15. Соколов Е.Н., Незлина Н.И. Условный рефлекс: детектор и командный нейрон. Журн. высш. нервн. деятельности. 57 (1): 5-22. 2007.

16. Трушина В.Н., Константинов К.В., Клименко В.М. Реабилитация детей с синдромом нарушения внимания и гиперактивностью на основе

непроизвольной адаптивной саморегуляции с ЭЭГ-акустической обратной связью. Медицинский академический журнал. 2007. 7 (3). С. 70-78.

17. Федотчев А.И., Радченко Г.С. Музыкальная терапия и «музыка мозга»: состояние проблемы и перспективы исследований. Успехи физиол. наук. 44 (4): 35-50. 2013.

18. Хризман Т.П. Развитие функций мозга ребенка Л: Наука, 1978.

19. Шеповальников А.Н., Цицерошин М.Н, Апанасионок В.С. Формирование биопотенциального поля мозга человека. Л.:Наука, 1979.

20. Яковлев.Н.М., Косицкая З.В., Клименко В.М., Непрялова Н.Е., Константинов К.В. Снижение выраженности аффективных расстройств у больных с дебютом шизофрении методом биоакустической коррекции. Журн. неврологии и психиатрии. 2011. №12. С. 32-35. 21. Baars B.J., Gage N.M. Cognition brain and consciousness, introduction to cognitive neuroscience. Oxford, 2010.

22. Bressler SL, Menon V. Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles. Trends Cogn Sci. 2010 Jun;14(6):277-290.

23. Contreras D., Steriade M. Synchronization of low-frequency rhythms in corticothalamic networks. Neuroscience. 76 (3): 11-24. 1997.

24. Ghajar J, Ivry RB. The predictive brain state: asynchrony in disorders of attention Neuroscientist. 2009 Jun;15(3):232-42.

25. Jausovec N, Habe K. The "Mozart effect": an electroencephalographic analysis employing the methods of induced event-related

desynchronization/synchronization and event-related coherence. *Brain Topogr* 2003;16:73-84.

26. Jones EG. A new view of specific and nonspecific thalamocortical connections. *Adv Neurol*. 1998;77:49–71.

27. Jones EG. The thalamic matrix and thalamocortical synchrony. *Trends Neurosci*. 2001;24:595–601.

28. Jones EG. Chemically defined parallel pathways in the monkey auditory system. *Ann NY Acad Sci*. 2003;999:218–233.

29. Koelsch S. Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*. 14 (3 1): 131-137. 2010.

30. Musacchia G, Large EW, Schroeder C.E. Thalamocortical mechanisms for integrating musical tone and rhythm. *Hear Res*. 2014, Feb;308:50-59.

31. Ngo H.V., Martinetz T., Jan Born J., Molle M. Auditory Closed-Loop Stimulation of the Sleep Slow Oscillation Enhances Memory. *Neuron*. 78: 1-9. 2013.

32. Rauscher F.H., Shaw G.L., Ky K.N. Music and spatial task performance. *Nature*. 1993.V. 365 N 6447. P. 611.

33. Steriade M. Corticothalamic resonance, state of vigilance and mentation. *Neuroscience*. 101 (2): 243-276. 2000.