

Научная статья

УДК 159.91

<https://doi.org/10.21702/7dp1zb57>

Психофизиологические механизмы восприятия и внутреннего повторения мелодий в норме и при шизофрении

Александр В. Вартанов¹ , Вероника М. Зубко^{1*} ,
Василиса Д. Абросимова¹ , Мария Д. Крысько² , Дарья А. Леонович³ ,
Ольга В. Шевалдова⁴ 

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

² Российский Государственный Гуманитарный Университет, Москва, Российская Федерация

³ Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

⁴ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»

*Почта ответственного автора: q158veronika@gmail.com

Аннотация

Введение. Исследование посвящено изучению психофизиологических механизмов восприятия и внутреннего повторения мелодий у здоровых людей и пациентов с шизофренией. Основное внимание уделяется различиям в нейронных процессах при обработке монофонических и полифонических музыкальных стимулов, что позволяет глубже понять когнитивные и нейронные особенности, связанные с шизофренией. **Методы.** В исследовании приняли участие 53 женщины, разделенные на две группы: 25 пациенток с диагнозом шизофрении (F20 по МКБ-10) и 28 здоровых добровольцев. Для регистрации активности мозга использовалась 19-канальная ЭЭГ с последующей обработкой данных методом «Виртуально вживленного электрода», который позволил проанализировать активность и функциональную связность 53 мозговых структур. Участники выполняли задание на выделение и внутреннее

повторение монофонической линии из полифонических музыкальных стимулов.

Результаты. Эксперимент показал, что у здоровых людей активируются зрительные области, супрамаргинальная извилина и правые базальные ганглии, что обеспечивает точное внутреннее воспроизведение музыкального мотива. В условиях шизофрении наблюдаются ослабленные связи в левой супрамаргинальной извилине и усиленная активность в зонах, связанных с восприятием полифонии, что указывает на сложности в удержании и воспроизведении релевантных музыкальных компонентов. **Обсуждение результатов.** Полученные данные свидетельствуют о различиях в нейронных механизмах обработки музыкальных стимулов при шизофрении. Ослабление связей в зонах контроля и усиление активности в зонах восприятия могут объяснять трудности в точном воспроизведении мелодий. Результаты подчеркивают роль подкорковых структур в компенсаторных процессах и открывают новые перспективы для исследований когнитивных нарушений при шизофрении.

Ключевые слова

восприятие мелодий, внутреннее повторение мелодий, шизофрения, реконструированная электрическая активность

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №20-18-00067-П.

Для цитирования

Вартанов, А. В., Zubko, B. M., Абросимова, В. Д., Крысько, М. Д., Леонович, Д. А., Шевалдова, О. В. (2025). Психофизиологические механизмы восприятия и внутреннего повторения мелодий в норме и при шизофрении. *Российский психологический журнал*, 22(2), 210–226. <https://doi.org/10.21702/7dp1zb57>

Введение

Внутренняя репрезентация мелодий, как часть внутренней речи, играет ключевую роль в когнитивных процессах человека. Эта тема привлекает внимание ученых из-за своей сложности и значимости в понимании механизмов работы мозга, особенно в контексте различных психических расстройств, таких как шизофрения. Особенностью музыки как средства коммуникации является независимость ее психофизиологического, телесного и субъективного переживания от культурных особенностей исполнителей и слушателей, несмотря на то, что она сама является продуктом культуры (Putkinen et al., 2024). Механизмы восприятия музыки традиционно связывают с правосторонней активностью в височном отделе: в верхней височной извилине, извилине Хешля, островковой доле, а также полосатом теле (Fujito et al., 2018). При этом психофизиологические механизмы восприятия

музыки зависят от степени знакомства с конкретной композицией. Данные метаанализа 2023 года, проведенного канадскими исследователями (Vuong et al., 2023), свидетельствуют о различных нейронных сетях, обеспечивающих восприятие знакомых и незнакомых мелодий. При восприятии знакомых мелодий активируется левая корково-подкорковая сеть, содержащая три значимых кластера: дополнительные двигательные области (6 поле Бродмана), нижняя лобная извилина (IFG, в том числе 44 поле), островковая доля. Участие этих зон было рассмотрено с точки зрения теории прогностического кодирования, в основе которой лежит идея генерации гипотез и их проверки через сравнение с сенсорными данными. Музыкальные стимулы довольно часто служат моделями для исследования нейронных сетей в рамках данной теории (Olszewska et al., 2023; Senn, 2023). Подавляющее большинство людей сталкивалось с таким феноменом, когда они имели возможность воспринимать некоторую знакомую мелодию, при том, что сама мелодия в данный момент не проигрывается (Liikkanen, 2008), а просто вспоминается (Gabriel et al., 2016) – появляются музыкальные образы. Они способствуют предсказанию продолжения мелодии, присутствуя в процессе восприятия мелодии (Eggermont, 2023), что может объяснить общие нейронные структуры в процессах восприятия и воображения мелодий (Gabriel et al., 2016). Внутреннее повторение мелодий представляет собой процесс, при котором человек мысленно воспроизводит услышанную музыку без какого-либо внешнего звукового стимула. Этот процесс включает в себя несколько когнитивных функций, таких как внимание, рабочая память, восприятие и планирование. Согласно исследованиям, внутренняя репрезентация мелодий активирует области мозга, аналогичные тем, которые участвуют в восприятии и воспроизведении реальной музыки, включая первичную слуховую кору, премоторные и моторные области (Zatorre & Halpern, 2005). В процесс обработки и мысленного представления мелодий включена деятельность обоих полушарий. Была показана билатеральная активность при взаимодействии со знакомыми мелодиями, сопровождаемыми текстом (Zatorre et al., 1996). При взаимодействии с инструментальными стимулами большая активность наблюдалась в правом полушарии (Halpern et al., 2004), тем не менее при работе с другими невербальными стимулами была зафиксирована активация левого полушария, однако про активность правого полушария с такими стимулами не сообщалось (Kraemer et al., 2005).

ЭЭГ является одним из основных методов исследования активности мозга в процессе внутренней репрезентации мелодий. Этот метод позволяет регистрировать электрическую активность мозга с высокой временной разрешающей способностью, что важно для изучения быстро проходящих когнитивных процессов. Исследования показывают, что внутреннее воспроизведение мелодий сопровождается изменениями в альфа- и бета-ритмах ЭЭГ. Например, более высокая амплитуда альфа-ритма (8-12 Гц) связана с увеличением внимания и концентрации при внутреннем воспроизведении музыки (Schaefer et al., 2011), в то время как изменения

в бета-ритме (13-30 Гц) могут указывать на активацию моторных и премоторных областей мозга, отвечающих за планирование и воспроизведение движений, связанных с игрой на музыкальных инструментах (Bhattacharya & Petsche, 2005).

Шизофрения является одним из наиболее сложных психических расстройств, характеризующихся нарушениями в процессах мышления, восприятия и эмоций. Одним из ключевых симптомов шизофрении являются слуховые галлюцинации, которые часто включают в себя внутренние голоса или звуки. Эти галлюцинации могут быть связаны с нарушениями в процессах внутренней речи и репрезентации звуковых стимулов. Исследования показывают, что пациенты с шизофренией имеют дефициты в когнитивных процессах, таких как рабочая память и внимание, что может влиять на их способность к внутреннему воспроизведению мелодий (Ford & Mathalon, 2004). ЭЭГ-исследования пациентов с шизофренией показывают, что у них наблюдаются аномалии в различных частотных диапазонах, таких как снижение мощности альфа-ритма и увеличение мощности дельта-ритма (1-4 Гц), что может свидетельствовать о дефицитах в когнитивной обработке и восприятии звуковых стимулов (Uhlhaas & Singer, 2010). Эти изменения могут быть связаны с нарушениями в синхронизации нейронной активности, что затрудняет эффективное воспроизведение внутренней речи и мелодий.

Исследования показывают, что внутренняя репрезентация полифонических мелодий, состоящих из нескольких независимых линий, требует более высоких когнитивных ресурсов по сравнению с монофоническими мелодиями. Это связано с необходимостью одновременно удерживать и обрабатывать несколько звуковых стимулов, что усложняет процесс внутреннего воспроизведения (Deutsch, 1999). У пациентов с шизофренией данная задача может вызывать еще большие трудности, из-за дефицитов в когнитивных процессах, таких как внимание и рабочая память.

Понимание психофизиологических механизмов внутреннего повторения мелодий может иметь важные прикладные аспекты. Например, результаты таких исследований могут быть использованы для разработки новых методов диагностики и терапии шизофрении, направленных на улучшение когнитивных функций и снижение симптомов (Ford & Mathalon, 2004). Кроме того, данные о внутренних репрезентациях мелодий могут быть полезны для разработки нейрокомпьютерных интерфейсов, позволяющих людям с ограниченными возможностями более эффективно взаимодействовать с окружающим миром (Minguillon et al., 2017).

Таким образом, исследование внутреннего повторения мелодий в норме и при шизофрении представляет собой важное направление в нейронауке и психофизиологии. Оно позволяет лучше понять механизмы работы мозга, связанные с когнитивными и эмоциональными процессами, и разрабатывать новые методы диагностики и терапии психических расстройств.

Цель исследования: исследование специфики психофизиологических механизмов восприятия и внутреннего повторения мелодий при сравнении групп нормы и шизофрении.

Объект исследования: особенности репрезентации полифонических стимулов в норме и при шизофрении.

Предмет исследования: психофизиологические механизмы процесса внутренней репрезентации полифонических стимулов в норме и при шизофрении.

Гипотеза: процесс внутренней репрезентации полифонических и монофонических аудиальных стимулов предполагает участие подкорковых ядер, которые обеспечивают общие механизмы внутренней реперезентации, которые в меньшей степени страдают при шизофрении.

Методы

Выборка

В исследовании приняли участие 53 женщины, разделенные на две группы. Клиническая группа включала 25 стационарных пациенток ПКБ №1 имени Алексеева с диагнозом расстройств шизофренического спектра (код по МКБ-10 F20), у которых наблюдались вербальные псевдогаллюцинации и трудности с абстрактным мышлением (средний возраст – 41 год). Контрольная группа состояла из 28 добровольцев, не имеющих психиатрических и неврологических нарушений, все участницы были правшами (средний возраст – 37 лет). Все пациентки клинической группы находились под длительным воздействием антипсихотических препаратов. Участники исследования подписали информированное согласие после ознакомления с протоколом эксперимента. Исследование было одобрено комиссией по биоэтике ПКБ №1 имени Н. А. Алексеева.

Оборудование

Запись ЭЭГ осуществлялась по 19 отведениям в соответствии с международной системой 10–20% с помощью электроэнцефалографа «Нейро-КМ» с частотой дискретизации 1000 Гц, полосой пропускания 0,3 до 30 Гц. Первичная обработка электроэнцефалографических данных была произведена с помощью лицензионного программного обеспечения «BrainSys».

Стимульный материал

В качестве стимульного материала использовались записи 4 мелодий, а также их сочетания, которые образовывали полифонические стимулы. Мелодии были составлены таким образом, чтобы их одновременное воспроизведение составляло гармонию в форме фуги. Каждая мелодия была исполнена на 2 инструментах: фортепиано и гlockenspiel. При попарном сведении мелодий, исполненных на разных инструментах и имеющих разный мелодический шаблон, были получены полифонические структуры. Также мелодии были совмещены с аудиозаписями слов, что создавало комплексный вербально-мелодический стимул. Монофонические

мелодические конструкции, использованные для построения стимуляции, представлены на рисунке 1.

Рисунок 1. *Стимульный материал в нотной записи. На каждой строчке показана моно-мелодическая конструкция, полифоническая структура получается путем попарного объединения данных строк.*



Процедура исследования

Участники проходили инструктаж, в ходе которого им объясняли цель и процедуру исследования, затем они подписывали информированное согласие. Задачей испытуемых было прослушать и выделить мелодическую линию, исполненную на фортепиано, и повторить ее про себя после условного сигнала. Все стимулы подавались через наушники. Во время прохождения серий снимались показатели ЭЭГ. Участники исследования проходили все серии с закрытыми глазами, для минимизации глазодвигательных и моргательных артефактов. Также испытуемые получали инструкцию, что во время записи необходимо сидеть неподвижно.

Методы обработки и анализа данных

Полученные данные были представлены в виде записей ЭЭГ. На первом этапе обработки данных был проведен визуальный анализ артефактов движений, включая движения глаз, с помощью программы Brainsys (BrainWin). Затем была выполнена очистка от артефактов, связанных с электрооборудованием, в области частот 50 Гц.

Далее был проведен расчет активности, локализованной в ряде заранее выбранных областей мозга (областей интереса) с применением нового метода «Виртуально вживленный электрод», разработанного А.В. Вартановым (патент РФ 2 785 268). Алгоритм этого метода описан в (Vartanov, 2022), метод основан на идее пространственной фильтрации, но, в отличие от существующих алгоритмов, он базируется не на дипольной модели (хорошо описывающей высокочастотную составляющую ЭЭГ – гамма-ритм), а на модели униполя (ненаправленного пространственного заряда), источником которого являются не постсинаптические

потенциалы, а следовые потенциалы, отражающие процессы активного транспорта ионов для восстановления мембранного потенциала нейрона (случайная суммация которых как раз и объясняет низкочастотную составляющую ЭЭГ) (Машеров, 2019). Метод верифицирован на данных глубокой стимуляции мозга (Вартанов, 2023). В итоге анализировалась активность и функциональная связность 53 структур мозга: гипоталамус, мост, средний мозг, продолговатый мозг, хвостатые ядра (L, R), медиальный бледный шар (L, R), скорлупа (L, R), таламус (L, R), гиппокамп (L, R), миндалина (L, R), вентральная часть передней поясной извилины (BA24), дорсальная часть передней поясной извилины (BA32), островковая доля (L, R), вентральный стриатум (BA25), дорсолатеральная префронтальная кора (BA9: L, R), супрамаргинальная извилина (BA40: L, R), теменная кора (BA7: L, R), зона Брока и её гомолог (BA44: L, R), зона Вернике и её гомолог (BA22: L, R), мозжечок (L, R), угловая извилина (BA39: L, R), средняя лобная извилина (BA10: L, R), орбито-фронтальная извилина (BA47: L, R), парагиппокампальные извилины PHC1 и PHC2 (L, R), зрительные зоны (L, R): V1 (BA17), V4, V3v, VO1, VO2.

Используя данную технологию, для каждой из 53 мозговых структур были получены усредненные ВП (по моменту предъявления стимула и по моменту предъявления сигнала для внутреннего проговаривания) за 200 мс до и 500 мс после в четырех экспериментальных сериях. На основе вычисления корреляции между ВП в этих структурах были построены графы связности, визуализированные с использованием программы GraphViz 2.38.

Каждый граф отражает, кроме того, соотношение амплитуд и временных характеристик вызванных потенциалов в каждой структуре при исследуемых условиях. Этот подход позволяет выявить сходства и различия в функциональных связях, вовлеченных в интересующий психический процесс. Для анализа связей учитывались их характеристики: сила (коэффициент корреляции связности), направление (односторонняя или двусторонняя), и характер (возбуждающая или тормозная). В этом исследовании связь понимается как синхронизация временных и амплитудных характеристик ВП. Описание графов включает коэффициенты корреляции: положительные значения указывают на возбуждающую связь, отрицательные – на тормозную. Сильной считается связь с коэффициентом корреляции выше 0,70. Связи с коэффициентом корреляции в диапазоне 0,40–0,60 считаются ослабленными и могут быть случайными, поэтому они могут не включаться в сеть изучаемого процесса.

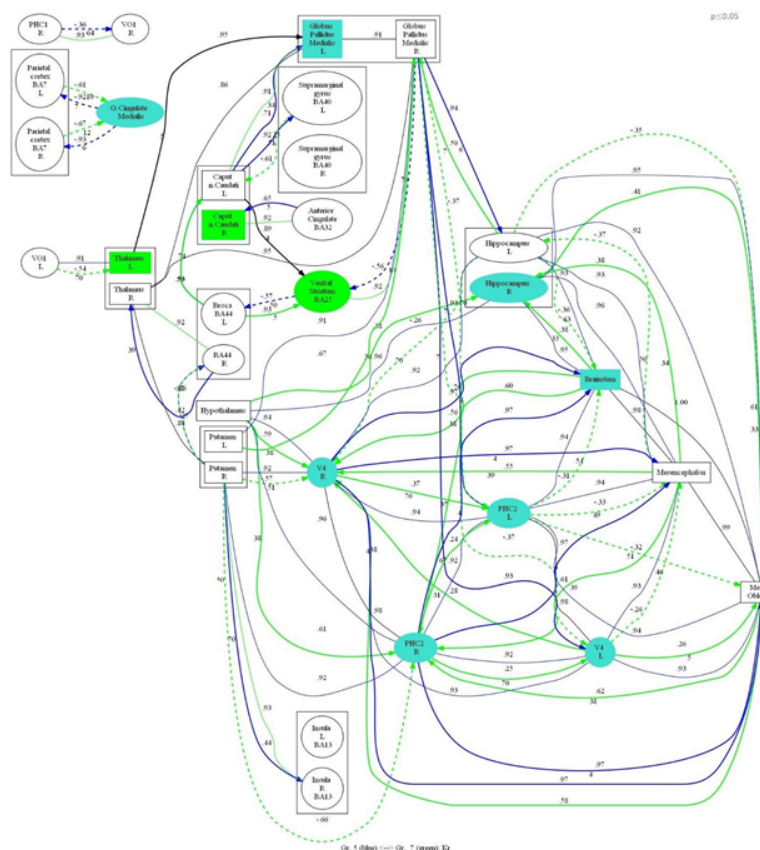
Результаты

На приведенных рисунках представлены общие и различные психофизиологические механизмы разных аспектов внутренней репрезентации монофонических и полифонических аудиальных стимулов. Черным цветом обозначены связи, совпадающие по силе, направлению и характеру в двух сравниваемых группах

или условиях. Связи, обозначенные синим и зеленым цветом, показывают различия в этих характеристиках и могут служить основой для интерпретации механизмов нарушений, затрагивающих процессы, обеспечивающих создание и воспроизведение внутренней репрезентации, если представлено межгрупповое сравнение. Структуры, обозначенные цветом – это те структуры, в которых зафиксировано наибольшее значение амплитуды, внутри этого условия/группы. Желтым цветом обозначены структуры, в которых достижение максимального значения амплитуды характерно для обоих условий/групп, а зеленым и синим – для одного из них.

Рисунок 2

Коннектом для восприятия и выделения монофонической музыкальной линии из полифонического музыкального образа



Примечание. Синим цветом обозначены структуры и процессы, наиболее активные в данном процессе в контрольной группе, зеленым – в клинической. Желтым – наиболее активные структуры в обеих группах. Сплошными линиями показаны процессы возбуждения, пунктирными – процессы торможения. Также показаны коэффициенты корреляции между показателями функциональной связности.

На коннектоме, изображенном на рисунке 2, показано, что в процессе восприятия и выделения монофонической музыкальной линии из полифонического стимула нет структур, достигающих одинаково высоких амплитуд в обеих группах. В клинической группе наиболее активными стали левый таламус, правое хвостатое ядро и вентральный стриатум, в контрольной – вентральная часть передней поясной извилины, левый бледный шар, правый гипокамп, ствол, зрительные зоны PHC2 и V4 билатерально.

Общие связи в двух группах. Наблюдаются высокие коэффициенты корреляции связи в подкорковых структурах: между правым таламусом и правой скорлупой (0,84), а также правосторонним (0,95) и левосторонним (0,86) бледным шаром, между которыми также обнаружена сильная связь (0,91). Также наблюдаются общие возбуждающие связи от левого таламуса к левому бледному шару (0,95) и от правого хвостатого ядра к вентральному стриатуму (0,89). По-прежнему сильная связь (0,98–1,00) есть между стволовыми структурами. В коре одинаково сильная связь в двух группах обнаружена между зрительными регионами PHC2 и V4 в правом (0,96) и левом (0,97) полушариях.

Различия в связях между группами. В процессе взаимодействия с полифоническим музыкальным стимулом наблюдается усиление некоторых связей в клинической группе. Слабая тормозная связь между правыми PHC1 и VO1 в контроле (-0,36), при шизофрении становится усиленной (0,93) и теряет свойства торможения. Также усиливается связь между правым бледным шаром и вентральным стриатумом (0,92), левым бледным шаром и левым хвостатым ядром (0,93), между дорсальной частью передней поясной коры и правым хвостатым ядром (0,92), правыми островковой долей и скорлупой (0,93), правыми таламусом и зоной 44 (0,92). В контрольной группе эти связи слабее, особенно сильные различия наблюдаются в связях правых островка и скорлупы (0,44 в контрольной группе), правых таламуса и зоной 44.

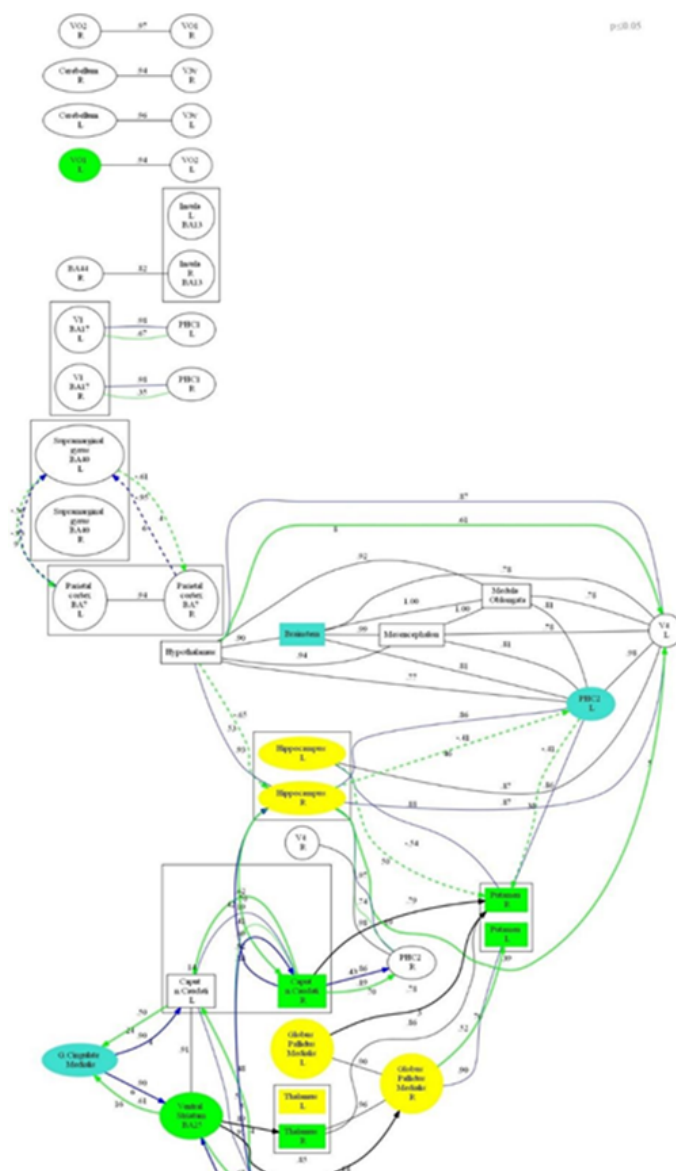
Также можно наблюдать интересные различия в связях зоны Брока. В контрольной группе в процессе восприятия и выделения мономелодии происходит торможение от правого бледного шара (-0,56) через вентральный стриатум (-0,57), при этом связи довольно слабые. В клинической же группе фиксируются сильные возбуждающие связи, направленные из зоны Брока в бледный шар билатерально через левое хвостатое ядро (0,99) в левый (0,91) и вентральный стриатум (0,93) в правый (0,92). В контрольной группе связь зоны Брока и хвостатого ядра не обнаружена.

В контрольной группе наиболее сильные связи наблюдаются между вентральной частью поясной извилины и теменными областями (R -0,93; L -0,92), левым таламусом и левой VO1 (0,91), правым бледным шаром и V4 (0,93). Были показаны связи зрительных регионов обоих полушарий между собой и структурами ствола (0,93–0,99), а также правой скорлупы и PHC2 (0,92) по возбуждающему восходящему механизму. В клинической группе данные связи значительно ослаблены.

Несмотря на наличие довольно сильной связи между правым гиппокампом и гипоталамусом в контрольной (0,96) и клинической (0,92) группах, можно наблюдать отсутствие возбуждающей связи в сторону гипоталамуса в клинической группе, в то время как в контрольной группе этот процесс двусторонний.

Рисунок 3

Коннектом для внутреннего представления монофонической мелодии, выделенной из полифонического музыкального образа



Примечание. Синим цветом обозначены структуры и процессы, наиболее активные в данном процессе в контрольной группе, зеленым – в клинической. Желтым – наиболее активные структуры в обеих группах. Сплошными линиями показаны процессы возбуждения, пунктирными – процессы торможения. Также показаны коэффициенты корреляции между показателями функциональной связности.

В процессе внутреннего представления одной мелодической линии полифонического образа наиболее активными структурами в обеих группах являются бледный шар и гиппокамп билатерально, а также левый таламус. В контрольной группе наиболее активными структурами являются вентральная часть поясной извилины, ствол и левая РНС2. В клинической группе наибольший показатель амплитуды наблюдается в правом таламусе и хвостатом ядре, вентральном стриатуме, дорсальной части передней поясной извилины, а также скорлупа билатерально.

Общие связи в двух группах. Обнаружены сильные связи между зрительными зонами VO1 и VO2 в правом полушарии (0,97), а также между мозжечком и регионом V3v справа (0,94) и слева (0,96). Сильные общие связи также наблюдаются между РНС2 и V4 в левом полушарии (0,98), V4, в свою очередь, связана с левым гиппокампом (0,87). Также зафиксированы сильные связи между островковой долей и зоной BA44 в правом полушарии (0,82), между стволовыми структурами друг с другом (0,99-1,00), а также между левой и правой теменной корой (0,94). Также общие связи зафиксированы между стволовыми структурами и левым РНС2 (0,81), а также с гипоталамусом (0,90). Сильные связи также наблюдаются между РНС2 и v4 в левом полушарии (0,98). Можно отметить возбуждающие связи, направленные от левополушарного бледного шара в правополушарную скорлупу (0,78). Также наблюдаются сильные связи вентрального стриатума и левого хвостатого ядра (0,91), а также связи, активирующие правый бледный шар (0,93) и правый таламус (0,89), который связан с правыми бледным шаром (0,96) и скорлупой (0,86). Правое хвостатое ядро активирует правую скорлупу (0,79).

Различия в связях между группами. В клинической группе по сравнению с контрольной не наблюдается усиления связей, все связи значительно слабее, а для части связей изменяется их характер и направление. Только ослабление зафиксировано в связях зоны V1 и РНС1 в обоих полушариях, при этом в правом полушарии ослабление связи сильнее (0,35/контроль 0,98), чем в левом (0,67/контроль 0,98), а также возбуждающая связь, идущая от хвостатого ядра к региону РНС2 в правом полушарии. Различия в характере связей наблюдаются между гипоталамусом и правым гиппокампом, а также между левым гиппокампом и правой скорлупой. В контрольной группе отмечена двусторонне возбуждающая связь (0,93), в клинической – торможение направлено в сторону гиппокампа (-0,65). Связь между левым гиппокампом и правой скорлупой в контрольной группе представлена как двусторонне возбуждающая (0,88), а в клинической – ослаблена (-0,54), а также является передающей торможение скорлупе.

В данной задаче наблюдается довольно много межгрупповых различий, характеризующихся ослаблением связи в клинической группе и изменением их направления передачи возбуждения и торможения на обратное. Так, в норме наблюдается тормозная связь в направлении к левой супрамаргинальной извилине от левой (-0,93) и правой (-0,95) теменной коры, в то время как в

клинической группе тормозные связи значительно слабее и направлены от левой супрамаргинальной извилины в сторону правой (-0,56) и левой (-0,61). Аналогичная тенденция наблюдается в частях поясной коры. В контрольной группе наблюдается возбуждающая связь в сторону левого хвостатого ядра (0,90) и вентрального стриатума (0,90), а в клинической группе эти структуры передают возбуждающий сигнал в сторону поясной извилины, также с учетом ослабления (0,61 от стриатума, 0,50 от хвостатого ядра). Дорсальная часть поясной извилины также активирует возбуждающие связи в сторону вентрального стриатума (0,93), левой (0,87) и правой (0,89) средней префронтальной коры, а также к левому хвостатому ядру (0,91).

Подобные различия наблюдаются в связанности правостороннего и левостороннего хвостатого ядра между собой: в контрольной группе связь двусторонняя (0,89), а в клинической возбуждение направлено в левое полушарие, при этом связь ослаблена (0,62). Связь гипоталамуса и региона V4 в левом полушарии: двусторонняя связь в контрольной группе (0,87), в клинической ослабленная возбуждающая связь направлена в сторону зрительного региона в левом полушарии (0,61), а связь гипоталамуса и правого гиппокампа в контрольной группе наблюдается двусторонняя связь (0,93), а клинической она приобретает тормозной характер со стороны гипоталамуса в сторону гиппокампа (-0,65).

Обсуждение результатов

Полифоническая музыкальная структура имеет ряд отличий от монофонических вербальных стимулов. В первую очередь она не требует означения и может запускать аффективную реакцию. При этом, она позволяет выбирать линию, которая в данный момент времени будет доминирующей (Huberth & Fujioka, 2017). В данном эксперименте было использовано директивное со стороны экспериментатора указание на выбор доминирующей линии и полученные результаты отражают процесс сохранения фокуса внимания на предполагаемой линии.

В данном процессе (рис. 2) наблюдается больше более сильных сохраненных связей в клинической группе, которые включают связи между зрительными областями (кодирующими цвет и общую сцену), а также таламуса и базальных ганглиями и связь хвостатого ядра и полосатого тела. Эти связи были неоднократно продемонстрированы в группе нормы о связи музыкального восприятия с цветовым (Palmer et al., 2013), а связь таламуса с базальными ганглиями включена в процесс сосредоточения внимания (Smith, 2022).

Усиления связей по сравнению с контрольной группой наблюдаются в зрительных между зрительными областями (форма и сцена), связи зоны Брока с хвостатым ядром и полосатым телом, которое возбуждает бледный шар. Эти данные могут свидетельствовать о процессе, смещенном в сторону внутренней речи, а не внутреннего представления. В пользу этого предположения выступают связи структур, обеспечивающих генерацию речи, таких как двигательный компонент,

с бледным шаром (Бахтин и др., 2020), а также интеграция звуковой сцены через связь скорлупы и островковой доли. Сильные связи таламуса и 44 региона в правом полушарии, и зоны Брока с хвостатым ядром и полосатым телом могут быть объяснены как использование механизма субвокализации для обращения внимания на заданную линию (Vuong et al., 2023).

В контрольной группе наблюдается тенденция активации зрительных регионов, а также деятельность супрамаргинальной извилины, обеспечивающей понимание природы стимула. Зрительные зоны позволяют создать ассоциативный ряд, связанный с движениями звука, поэтому образ перекодируется в полимодальный зрительно-пространственно-слуховой, а не речевой, что позволяет с точностью воспроизводить этот мотив (Холиков, 2023).

Часть исследования, представленная на рис. 3, отличается от предыдущей тем, что при проговаривании необходимо не повторить автоматически исходный стимул, а трансформировать его, выделить внутреннюю репрезентацию части этого стимула, связанную со звучанием конкретного инструмента, и воспроизвести именно ее. Общие сильные связи остаются между структурами правого базального ганглия, что может обеспечивать невербальную внутреннюю речь (Riva et al., 2018), что согласуется с данными фМРТ исследования (Крысько, Вартанов, Бронов, 2024). Также соотносится с данными фМРТ общая связь мозжечка и затылочных регионов, а также связь 44 поля и островковой доли в правом полушарии, что обеспечивает производство музыкального синтаксиса (Maess et al., 2001; Kunert et al., 2015; Chiang et al., 2018).

Различия заключаются в наличии более ослабленных связях левой супрамаргинальной извилины. Также отмечается наличие тормозных связей гиппокампа. Можно объяснить это тем, что при шизофрении не происходит удержание необходимой фигуры в рабочей памяти, а может происходить удержание и исключения нерелевантных частей, что может служить компенсаторным механизмом длительной истории болезни (Sass & Parnas, 2007). При этом связи таламуса со скорлупой, бледным шаром и полосатым телом сохраняются, однако связи подкорковых структур с корковыми при шизофрении сильно ослаблены. Это может говорить о процессе неосознаваемого выделения релевантных компонентов через исключение нерелевантных, в то время как в норме происходит осознанное выделение доминирующего потока из фона, связанных с поставленной задачей (Uhlig, Fairhurst & Keller, 2013). Вероятно, что при шизофрении могли быть выделены не столько заданные задачей компоненты, сколько доминирующие при восприятии, о чем свидетельствуют усиленная активация стандартных для восприятия полифоний зон, но ослабленная в зонах контроля (Dutterer et al., 2023).

Таким образом, в процессе сосредоточения внимания на музыкальной линии полифонического стимула в норме активированы зрительные регионы и супрамаргинальная извилина, что обеспечивает точное внутреннее воспроизведение выделенной части, связанной со звучанием конкретного инструмента. В контексте шизофрении наблюдаются ослабление связей левой супрамаргинальной извилины и

удержание нерелевантных компонентов, что влияет на внутреннее воспроизведение и может указывать на компенсационный механизм в условиях шизофрении. Также проявляется усиление активности зон, ответственных за восприятие полифоний, но отмечается ослабление в зонах контроля.

Выводы

В норме, при сосредоточении на доминирующей линии полифонического стимула, активируются зрительные области, супрамаргинальная извилина и зоны, связанные с музыкальным синтаксисом. Это обеспечивает точное внутреннее воспроизведение музыкального мотива, связанного с конкретным инструментом. Существуют сильные связи между правыми базальными ганглиями, таламусом и другими структурами, что поддерживает механизм субвокализации и внимательное восприятие музыкальных элементов. У людей с шизофренией наблюдаются ослабленные связи между левой супрамаргинальной извилиной и другими областями, а также усиленная активность в зонах, связанных с восприятием полифонии. Это может указывать на затруднения в удержании и внутреннем воспроизведении релевантных музыкальных компонентов, а также на компенсаторные механизмы, направленные на управление нерелевантной информацией. В условиях шизофрении ослабление связей в зонах контроля и усиление активности в зонах восприятия полифонии могут приводить к нарушению точности внутреннего воспроизведения и выделения доминирующей линии. Это подтверждает предположение о том, что шизофрения влияет на когнитивные процессы, связанные с музыкальным восприятием и внутренним воспроизведением.

Таким образом, исследование показывает различия в нейронных связях и активации областей мозга при восприятии полифонической музыки между здоровыми людьми и пациентами с шизофренией. В норме процесс сосредоточения и внутреннего воспроизведения осуществляется более эффективно, тогда как у пациентов с шизофренией наблюдаются нарушения в этих процессах, что может быть связано с компенсаторными механизмами и изменениями в обработке музыкальной информации.

Литература

- Бахтин, О. М., Кривко, Е. М., Кирой, В. Н. (2020). Электромиографические компоненты, ассоциированные с внутренней речью. *Журнал медико-биологических исследований*, 8(2), 111–120.
- Вартанов, А. В. (2023). Новый подход к пространственной локализации электрической активности по данным ЭЭГ. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*, 15(4), 326–338.
- Крысько, М., Вартанов, А., Бронов, О. (2024). Verbal component suppression during internal representation of songs: fMRI-study. *Психологические исследования*, 17(94), 2–2.
- Машеров, Е. Л. (2019). Электрохимическая обратная связь, как один из возможных механизмов генерации низкочастотной составляющей биоэлектрической активности мозга. *Биофизика*, 64(3), 572–577.

- Холиков, К. Б. (2023). Сложная система мозга: в гармонии, не в тональности и не введении. *Science and Education*, 4(7), 206–213.
- Bhattacharya, J., & Petsche, H. (2005). Drawing on mind's canvas: Differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. *Human Brain Mapping*, 26(1), 1–14.
- Chiang, J. N., Rosenberg, M. H., Bufford, C. A., Stephens, D., Lysy, A., & Monti, M. M. (2018). The language of music: Common neural codes for structured sequences in music and natural language. *Brain and Language*, 185, 30–37.
- Deutsch, D. (1999). Grouping mechanisms in music. In *The Psychology of Music* (pp. 299–348). Academic Press.
- Dutterer, J., Bansal, S., Robinson, B., & Gold, J. M. (2023). Sustained attention deficits in schizophrenia: Effect of memory load on the Identical Pairs Continuous Performance Test. *Schizophrenia Research: Cognition*, 33, 100288.
- Eggermont, J. J. (2023). *Brain Responses to Auditory Mismatch and Novelty Detection: Predictive Coding from Cocktail Parties to Auditory-Related Disorders*. Elsevier.
- Ford, J. M., & Mathalon, D. H. (2004). Electrophysiological evidence of corollary discharge dysfunction in schizophrenia during talking and thinking. *Journal of Psychiatric Research*, 38(1), 37–46.
- Fujito, R., Mineise, M., Hatada, S., Kamimura, N., Morinobu, S., Lang, D. J., Sawada, K. (2018). Musical deficits and cortical thickness in people with schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 197, 233–239.
- Gabriel, D., Wong, T. C., Nicolier, M., Giustiniani, J., Mignot, C., Noiret, N., Vandel, P. (2016). Don't forget the lyrics! Spatiotemporal dynamics of neural mechanisms spontaneously evoked by gaps of silence in familiar and newly learned songs. *Neurobiology of Learning and Memory*, 132, 18–28.
- Halpern, A. R., Zatorre, R. J., Bouffard, M., & Johnson, J. A. (2004). Behavioral and neural correlates of perceived and imagined musical timbre. *Neuropsychologia*, 42(9), 1281–1292.
- Huberth, M., Fujioka, T. (2017). Neural representation of a melodic motif: Effects of polyphonic contexts. *Brain and Cognition*, 111, 144–155.
- Kraemer, D. J., Macrae, C. N., Green, A. E., Kelley, W. M. (2005). Sound of silence activates auditory cortex. *Nature*, 434(7030), 158–158.
- Kunert, R., Willems, R. M., Casasanto, D., Patel, A. D., Hagoort, P. (2015). Music and language syntax interact in Broca's area: an fMRI study. *PLOS ONE*, 10(11), e0141069.
- Liikkanen, L. A. (2008). Music in everymind: Commonality of involuntary musical imagery. In *10th International Conference of Music Perception and Cognition*, Sapporo, Japan, August 2008 (pp. 1–5).
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: An MEG study. *Nature Neuroscience*, 4(5), 540–545.
- Minguillon, J., Lopez-Gordo, M. A., Pelayo, F. (2017). Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal. *Biomedical Signal Processing and Control*, 31, 407–418.
- Olszewska, A. M., Drożdżel, D., Gaca, M., Kulesza, A., Obrębski, W., Kowalewski, J., Herman, A. M. (2023). Unlocking the musical brain: A proof-of-concept study on playing the piano in MRI scanner with naturalistic stimuli. *Heliyon*, 9(7).
- Palmer, S. E., Schloss, K. B., Xu, Z., Prado-León, L. R. (2013). Music-color associations are mediated by emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(22), 8836–8841.
- Putkinen, V., Zhou, X., Gan, X., Yang, L., Becker, B., Sams, M., Nummenmaa, L. (2024). Bodily maps of musical sensations across cultures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(5), e2308859121.

- Riva, D., Taddei, M., Bulgheroni, S. (2018). The neuropsychology of basal ganglia. *European Journal of Paediatric Neurology*, 22(2), 321–326.
- Sass, L. A., Parnas, J. (2007). Explaining schizophrenia: The relevance of phenomenology. In *Reconceiving Schizophrenia* (pp. 63–95).
- Schaefer, R. S., Vlek, R. J., Desain, P. (2011). Music perception and imagery in EEG: Alpha band effects of task and stimulus. *International Journal of Psychophysiology*, 82(3), 254–259.
- Senn, O. (2023). A predictive coding approach to modelling the perceived complexity of popular music drum patterns. *Heliyon*, 9(4).
- Smith, M. (2022). *Engaging characters: Fiction, emotion, and the cinema*. Oxford University Press.
- Uhlhaas, P. J., Singer, W. (2010). Abnormal neural oscillations and synchrony in schizophrenia. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 100–113.
- Uhlig, M., Fairhurst, M. T., Keller, P. E. (2013). The importance of integration and top-down salience when listening to complex multi-part musical stimuli. *NeuroImage*, 77, 52–61.
- Vartanov, A. V. (2022). A new method of localizing brain activity using the scalp EEG data. *Procedia Computer Science*, 213, 41–48.
- Vuong, V., Hewan, P., Perron, M., Thaut, M., Alain, C. (2023). The neural bases of familiar music listening in healthy individuals: An activation likelihood estimation meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 105423.
- Zatorre, R. J., Halpern, A. R. (2005). Mental concerts: Musical imagery and auditory cortex. *Neuron*, 47(1), 9–12.
- Zatorre, R. J., Halpern, A. R., Perry, D. W., Meyer, E., Evans, A. C. (1996). Hearing in the mind's ear: A PET investigation of musical imagery and perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(1), 29–46.

Поступила в редакцию: 17.10.2024

Поступила после рецензирования: 13.03.2025

Принята к публикации: 19.04.2025

Заявленный вклад авторов

Александр Валентинович Вартанов – участие в разработке концепции исследования, сбор и анализ данных, обсуждение результатов, подготовка текста статьи.

Вероника Максимовна Зубко – участие в разработке концепции исследования, сбор и анализ данных, обсуждение результатов, подготовка текста статьи.

Василиса Дмитриевна Абросимова – участие в разработке концепции исследования, сбор и анализ данных, обсуждение результатов, подготовка текста статьи.

Мария Дмитриевна Крысько – участие в разработке концепции исследования, сбор и анализ данных, обсуждение результатов, подготовка текста статьи.

Дарья Алексеевна Леонович – участие в разработке концепции исследования, сбор и анализ данных, обсуждение результатов, подготовка текста статьи.

Ольга Владимировна Шевалдова – участие в разработке концепции исследования, сбор и анализ данных, обсуждение результатов, подготовка текста статьи.

Информация об авторах

Александр Валентинович Вартанов – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; Researcher ID: D-9907-2012, Scopus ID: 6603018783, Author ID: 72326, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8844-9643>; e-mail: a_v_vartanov@mail.ru

Вероника Максимовна Зубко – лаборант кафедры психофизиологии факультета психологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2513-8359>; e-mail: q158veronika@gmail.com

Василиса Дмитриевна Абросимова – лаборант кафедры психофизиологии факультета психологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9296-714X>; e-mail: vasilisaabr@yandex.ru

Мария Дмитриевна Крысько – ассистент кафедры общей психологии Института психологии имени Л. С. Выготского, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9263-5203>; e-mail: mariya.krysko@mail.ru

Дарья Алексеевна Леонович – аспирант, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-3028-2278>; e-mail: dagubareva@gmail.com

Ольга Владимировна Шевалдова – младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий, Москва, Россия; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8577-4280>, Author ID: 9395-5102; e-mail: shevaldova_ov@academpharm.ru

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.