



Нейропластичность, музыка и мозг

И.Н. Боголепова¹, М.В. Кротенкова¹, Р.Н. Коновалов¹, П.А. Агапов¹, И.Г. Малофеева¹, А.Т. Бикмеев²

¹Научный центр неврологии, Москва, Россия;

²Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

Аннотация

Введение. Изучение влияния музыки на мозг человека является одной из важных проблем нейронауки, т.к. позволяет расширить наше представление о нейропластичности мозга.

Цель исследования – изучение особенностей структурной организации мозга профессиональных музыкантов.

Материалы и методы. С помощью магнитно-резонансной томографии исследовали 27 мозгов (54 полушария) мужчин-музыкантов, женщин-музыкантов и людей, не имеющих отношения к музыке. Все исследуемые были в возрасте 20–30 лет, без неврологических и психических заболеваний. Измеряли объём серого вещества и толщину коры различных корковых формаций в правом и левом полушариях мозга.

Результаты. Установлены принципиальные изменения строения мозга профессиональных музыкантов (мужчин и женщин) в сравнении с мозгом людей, не имеющих отношения к музыке. Отмечены особенности макроскопического строения триангулярной области речедвигательной зоны Брока мозга музыкантов. Установлено увеличение объёма серого вещества мозга музыкантов и его отдельных корковых формаций, в частности, верхней височной извилины, речедвигательной зоны Брока, гиппокампа, верхней теменной долики и ряда других структур. Показано увеличение толщины коры корковых структур мозга музыкантов в сравнении с мозгом немусыкантов.

Заключение. Систематические занятия музыкой изменяют структурную организацию мозга, установлено значительное увеличение объёма серого вещества и толщины коры различных корковых формаций в правом и левом полушариях мозга музыкантов по сравнению с людьми контрольной группы.

Ключевые слова: мозг; мужчина; женщина; музыка; корковые формации

Соблюдение этических стандартов. Исследование проводилось при добровольном информированном согласии пациентов. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом Научного центра неврологии (протокол № 7-4/22 от 29.08.2022).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешних источников финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Адрес для корреспонденции: 105064, Россия, Москва, пер. Обуха, д. 5. E-mail: bogolepovaira@gmail.com.
Боголепова И.Н.

Для цитирования: Боголепова И.Н., Кротенкова М.В., Коновалов Р.Н., Агапов П.А., Малофеева И.Г., Бикмеев А.Т., Нейропластичность, музыка и мозг. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2024;18(1):72–78.

DOI: <https://doi.org/10.54101/ACEN.2024.1.8>

Поступила 20.05.2023 / Принята в печать 19.10.2023 / Опубликовано 25.03.2024

Neuroplasticity, music, and human brain

Irina N. Bogolepova¹, Marina V. Krotenkova¹, Rodion N. Konovalov¹,
Pavel A. Agapov¹, Irina G. Malofeeva¹, Alexander T. Bikmeev²

¹Research Center of Neurology, Moscow, Russia;

²Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

Abstract

Introduction. Studying the influence of music on the human brain is one of the key topics in neuroscience as it allows extending our understanding of brain neuroplasticity.

This study aimed to investigate structural brain organization in professional musicians.

Materials and methods. We investigated 27 brains (i.e. 54 hemispheres) of male musicians, female musicians, male non-musicians, and female non-musicians by magnetic resonance imaging. All study participants were aged 20 to 30 years and did not have any mental or neurological disorders. Gray matter volume and cortex thickness in different cortical structures of the right and left hemispheres were measured.

Results. We found major changes in the brain structure in professional musicians (both male and female) vs. non-musicians. We found differences in the macroscopic structure of the triangular region in the Broca's motor speech area in musicians' brain. Increases in gray matter volume in the brain of musicians and its individual cortical structures were shown in the superior temporal region, Broca's motor speech area, hippocampus, superior parietal lobule, and other structures. We found increased thickness of cortical structures in musicians vs. non-musicians.

Conclusions. Practicing music regularly was shown to change structural brain organization; we found significant increases in gray matter volume and cortex thickness in various cortical structures in the right and left brain hemispheres of musicians vs. non-musicians.

Keywords: brain; male; female; music; cortical structures

Ethics approval. The study was conducted with the informed consent of the patients. The research protocol was approved by the Ethics Committee of the Research Center of Neurology (protocol No. 7-4/22, August 29, 2022).

Source of funding. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: 105064, Russia, Moscow, Obukha per., 5. Research Center of Neurology. E-mail: bogolepovaira@gmail.com. Bogolepova I.N.

For citation: Bogolepova I.N., Krotenkova M.V., Kononov R.N., Agapov P.A., Malofeeva I.G., Bikmeev A.T. Neuroplasticity, music, and human brain. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2024;18(1):72–78. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.54101/ACEN.2024.1.8>

Received 20.05.2023 / Accepted 19.10.2023 / Published 25.03.2024

Введение

Одной из важных проблем нейронауки является нейропластичность, или пластичность мозга. Под термином «нейропластичность» подразумевают способность мозга перестраиваться в функциональном и структурном смысле под влиянием внешней среды, профессиональной деятельности, а также психологического стресса [1–5].

Одним из первых учёных, использовавших в своих исследованиях термин «нейронная пластичность», был Сантьяго Рамон-и-Кахаль, однако этот термин он применил при описании нейрона как основной и фундаментальной единицы мозга. Этот термин впоследствии использовали в основном для описания процесса регенерации периферической нервной системы [6].

Применение микроэлектродов в нейрофизиологических исследованиях позволило учёным регистрировать электрические сигналы нейронов и, таким образом, уточнить взаимодействия между отдельными нейронами, составляя структурно-функциональные карты мозга. D. Hubel и T. Wiesel, исследуя в 1960-х гг. мозг животных, показали, что у молодых животных, особенно между 3-й и 8-й неделями постнатального периода, мозг отличается большой пластичностью. Эти учёные также впервые доказали, что функциональная карта мозга может изменяться – они показали изменения работы корковых структур мозга у животных с нарушениями зрения [7–9].

В последующих экспериментальных работах выявлено, что структурно-функциональные карты мозга характеризуются динамичностью [10–12].

Большой вклад в изучение нейропластичности внесли исследования мозга здорового и больного человека мето-

дами магнитно-резонансной томографии (МРТ). Впервые были показаны изменения мозга человека в результате влияния его профессиональной деятельности.

Музыка играет большую роль в эмоциональной жизни человека. Во многих современных публикациях убедительно показано влияние музыки на память, ритм и восприятие времени. Слушая музыку, человек может успокаиваться, расслабляться, или музыка побуждает его к энергичным движениям и танцам. Профессиональные занятия музыкой перестраивают жизнь человека [13, 14], однако почти нет исследований, посвящённых изучению мозга музыкантов.

Целью настоящего исследования стало изучение особенностей структурной организации мозга профессиональных музыкантов.

Материалы и методы

С помощью МРТ исследовано 27 мозгов (54 полушария): 9 мужчин контрольной группы, 9 женщин контрольной группы, 5 мужчин-музыкантов и 4 женщин-музыкантов. Все участники исследования были в возрасте 20–30 лет, не страдали психическими и неврологическими заболеваниями. Все мужчины-музыканты и женщины-музыканты играют на фортепьяно с детства, имеют высшее музыкальное образование по специальности «фортепиано». В настоящее время они работают преподавателями по классу «фортепьяно», концертмейстерами или дают соль-ные концерты.

Исследование проводилось при добровольном информированном согласии пациентов. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом Научного центра неврологии (протокол № 7-4/22 от 29.08.2022).

Измеряли общий объём серого вещества, белого вещества, ряда корковых структур, нижней лобной извилины, оперкулярной области речедвигательной зоны Брока, парагиппокампальной извилины, верхней височной извилины, височного полюса и других образований мозга, а также толщину коры нескольких областей мозга.

Исследование выполнено на ультравысокопольном магнитно-резонансном томографе «Magnetom Prisma» («Siemens») в режиме T1 MP2RAGE в сагиттальной плоскости в количестве 176 срезов с толщиной среза 1 мм и параметрами сканирования TR = 5000,0 ms, TE = 2,74 ms, T11 = 700 ms, T12 = 2500 ms, flipangle₁ = 4°, flipangle₂ = 5° и размером матрицы 256 мм. Реконструкция поверхности мозга проведена путём обработки полученных МРТ-изображений с использованием инструментария для обработки МРТ-данных CAT12, созданного на базе пакета компьютерной математики «Matlab». В соответствии со стандартной процедурой, описанной в руководстве приложения CAT12, использовали модуль «Segment». Объём серого вещества и толщину коры мозга вычисляли с использованием CAT12 в модуле «ROI Tools» на основе двух атласов: «neuromorphometrics» и «aparc_a2009s_thickness».

Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакетов программ «Statistica v. 8» и «Rver.4.x». Достоверность различий между значениями показателей мозга музыкантов и мозга людей контрольной группы оценивали методами непараметрической статистики с использованием U-критерия Манна–Уитни. Отличия считали значимыми, если значение уровня статистической значимости удовлетворяло условию $p < 0,05$. Для удобства представления данных в статье приведены медианные значения величин (M) и интерквартильный размах (Q_1-Q_3).

Результаты

Установлены принципиальные изменения строения мозга мужчин-музыкантов в сравнении с мозгом мужчин контрольной группы и мозга женщин-музыкантов в сравнении с мозгом женщин контрольной группы. При сравнительном анализе макроскопического строения зоны Брока левого полушария (ЛП) мозга у женщин-музыкантов установлено более сложное строение треугольной области коры мозга мозга, чем у женщин контрольной группы. В мозге женщин-музыкантов в сравнении с мозгом женщин контрольной группы отмечается наличие дополнительных бороздок, особенно в треугольной области, и слияние треугольной области с оперкулярной областью и орбитальной областью мозга за счёт наличия межужочных формаций, увеличивающих размеры как треугольной, так и оперкулярной области (рис. 1, 2).

У мужчин-музыкантов относительный объём серого вещества в процентном отношении к общему объёму мозга был больше по сравнению с относительным объёмом серого вещества мозга мужчин контрольной группы ($p = 0,048$), значение медианы относительного объёма серого вещества мозга мужчин контрольной группы равняется $36,00 \pm 4,05\%$, а величина медианы относительного объёма серого вещества мозга мужчин-музыкантов

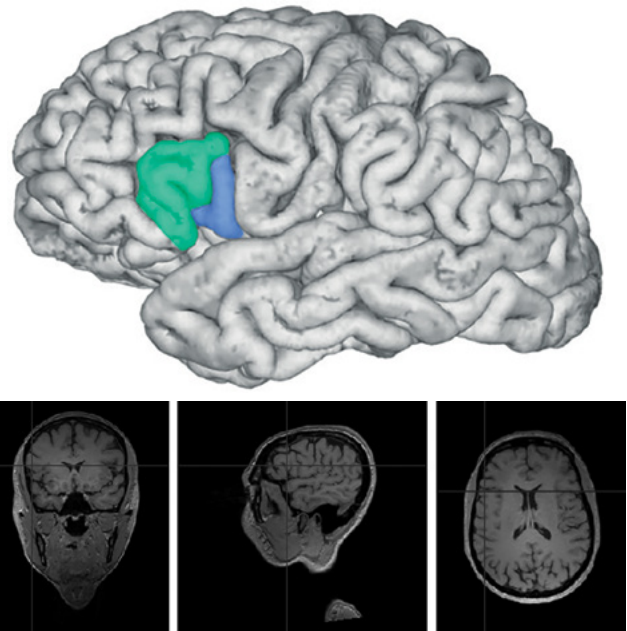


Рис. 1. Строение зоны Брока мозга женщины-музыканта, ЛП. Зелёным цветом обозначена треугольная область, синим – оперкулярная.

Fig. 1. Structure of Broca's area in the brain of a female musician, LH.

Triangular region is shown in green; opercular region is shown in blue.

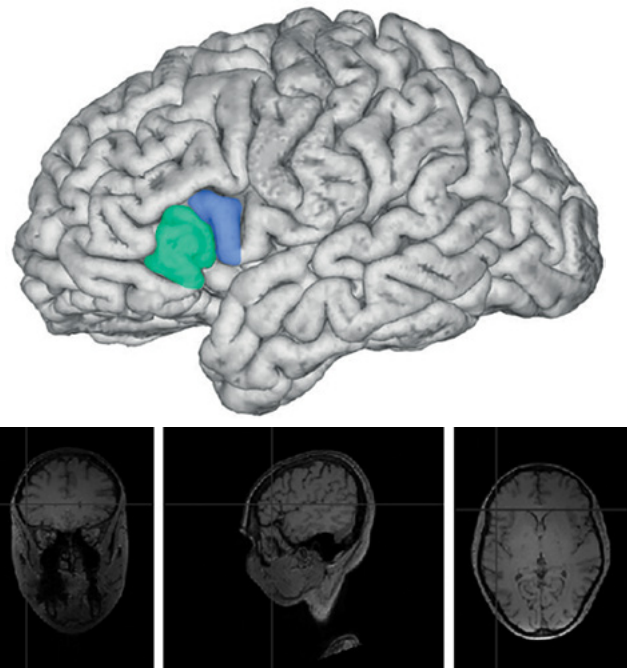


Рис. 2. Строение зоны Брока мозга женщины контрольной группы, ЛП.

Зелёным цветом обозначена треугольная область, синим цветом – оперкулярная.

Fig. 2. Structure of Broca's area in the brain of a female non-musician, LH.

Triangular region is shown in green; opercular region is shown in blue.

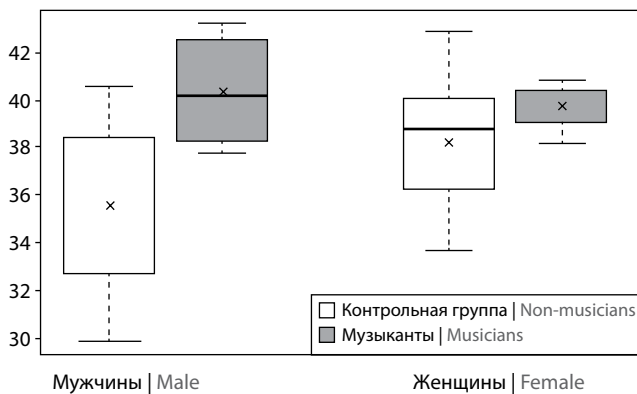


Рис. 3. Относительный объём серого вещества мозга мужчин и женщин контрольной группы и музыкантов, % общего объёма мозга.

Fig. 3. Relative volume of gray matter in male and female non-musicians and musicians, % of total brain volume.

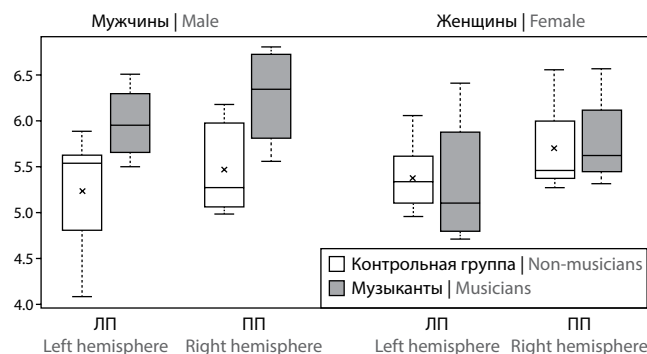


Рис. 4. Объём верхней височной извилины мозга музыкантов и людей контрольной группы, см³.

Fig. 4. Volume of superior temporal gyrus in musicians and non-musicians, cm³.

увеличивается до $40,25 \pm 3,68\%$. Для женщин изменения не могут быть отмечены как значимые ($p = 0,44$; рис. 3).

Настоящее исследование показало, что величины объёма ряда корковых структур в мозге мужчин-музыкантов и женщин-музыкантов больше объёма тех же корковых структур мозга мужчин и женщин контрольной группы. Значение медианы объёма оперкулярной области речедвигательной зоны Брока нижней лобной извилины в правом полушарии (ПП) мозга мужчин контрольной группы равняется в среднем $2,53 \pm 0,94$ см³, а медиана объёма аналогичной области речедвигательной зоны Брока в ПП мозга мужчин-музыкантов достигает $2,82 \pm 0,10$ см³. В ЛП мозга мужчин-музыкантов наблюдалась такая же тенденция. Медианное значение объёма оперкулярной области речедвигательной зоны Брока в ЛП мозга мужчин контрольной группы равняется в среднем $2,42 \pm 0,62$ см³, а в мозге мужчин-музыкантов – $2,72 \pm 0,09$ см³.

Отмечено некоторое увеличение объёма гиппокампа в мозге музыкантов ($p = 0,57$) – значение медианы объёма гиппокампа в ПП мозга мужчин контрольной группы равняется $3,25 \pm 0,19$ см³, а в ПП мозга мужчин-музыкантов – $3,32 \pm 0,36$ см³.

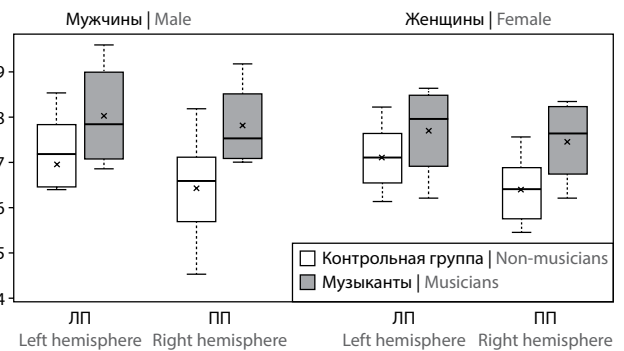


Рис. 5. Объём верхней теменной доли мозга музыкантов и людей контрольной группы, см³.

Fig. 5. The volume of the upper parietal lobule of the brain of musicians and people of the control group, cm³.

Следует подчеркнуть изменение объёма корковых структур в височной области мозга мужчин-музыкантов по сравнению с теми же структурами мозга мужчин контрольной группы (рис. 4). Значение медианы объёма верхней височной извилины в ПП мозга мужчин контрольной группы равняется $5,27 \pm 0,88$ см³, а у мужчин-музыкантов увеличивается до $6,34 \pm 0,72$ см³ ($p = 0,048$). В ЛП также наблюдается увеличение значения медианы объёма верхней височной извилины: у мужчин контрольной группы объём равняется $5,53 \pm 0,73$ см³, а у мужчин-музыкантов – $5,95 \pm 0,45$ см³ ($p = 0,110$). У женщин-музыкантов значение медианы объёма верхней височной извилины в ПП составляет $5,63 \pm 0,38$ см³, у женщин контрольной группы – $5,46 \pm 0,62$ см³ ($p = 0,604$). Медианное значение объёма верхней височной извилины в ЛП составляет $5,10 \pm 0,77$ см³ и $5,32 \pm 0,51$ см³ соответственно ($p = 0,604$).

Установлена тенденция увеличения объёма верхней теменной доли мозга музыкантов (рис. 5). У мужчин контрольной группы в ПП мозга значение медианы объёма верхней теменной доли равняется $6,58 \pm 1,33$ см³, а у мужчин-музыкантов – $7,58 \pm 2,20$ см³ ($p = 0,072$), в ЛП значения составляли $7,21 \pm 1,40$ и $7,89 \pm 1,61$ см³ соответственно ($p = 0,368$). У женщин в ПП значение медианы объёма верхней теменной доли равнялось $6,40 \pm 1,19$ см³, у женщин-музыкантов – $7,71 \pm 1,19$ см³ ($p = 0,076$). В ЛП медианное значение объёма верхней теменной доли у женщин контрольной группы составляло $7,14 \pm 1,16$ см³, у женщин-музыкантов – $8,04 \pm 1,18$ см³ ($p = 0,330$).

В настоящем исследовании установлено увеличение толщины коры ряда корковых формаций мозга музыкантов. Например, значение медианы толщины коры ангулярной извилины ЛП мозга мужчин контрольной группы равняется $2,04 \pm 0,29$ мм, а у мужчин-музыкантов – $2,20 \pm 0,19$ мм ($p = 0,283$). В ПП наблюдается аналогичное увеличение толщины коры ангулярной извилины: у мужчин контрольной группы – $2,13 \pm 0,23$ мм, у мужчин-музыкантов – $2,30 \pm 0,18$ мм ($p = 0,048$). У женщин-музыкантов толщина коры ангулярной извилины также больше по сравнению с женщинами контрольной группы ($p = 0,017$ и $p = 0,034$), причём у женщин отличия в обоих полушариях являются статистически значимыми, тогда как у мужчин статически значимо только отличие в ПП.

Отмечается тенденция увеличения толщины коры верхней височной извилины (латеральной части) мозга мужчин-музыкантов – у мужчин контрольной группы значение медианы толщины коры этой корковой области равняется в ЛП $2,42 \pm 0,30$ мм, а у мужчин-музыкантов – $2,68 \pm 2,68$ мм ($p = 0,109$); в ПП мужчин контрольной группы значение медианы толщины коры верхней височной извилины достигает $2,38 \pm 0,22$ мм, а у мужчин-музыкантов – $2,71 \pm 0,11$ мм ($p = 0,073$). У женщин контрольной группы медиана толщины коры латеральной части верхней височной извилины составляла в ЛП $2,55 \pm 0,33$ мм, в ПП – $2,66 \pm 0,18$ мм, а толщина аналогичной коры у женщин-музыкантов равнялась $2,63 \pm 0,18$ и $2,70 \pm 0,27$ мм соответственно ($p = 0,504$ и $p = 0,904$).

В наших исследованиях также установлены изменения объема *planum temporale* у музыкантов. У мужчин-музыкантов в ЛП мозга значение медианы объема *planum temporale* равнялось $1,84 \pm 0,19$ см³, а у мужчин контрольной группы – $1,60 \pm 0,39$ см³ ($p = 0,214$), в ПП – $1,71 \pm 0,18$ и $1,41 \pm 0,17$ см³ соответственно ($p = 0,048$). У женщин-музыкантов значение медианы объема *planum temporale* в ЛП было равно $1,62 \pm 0,39$ см³, а в ПП – $1,57 \pm 0,20$ см³. У женщин контрольной группы медианы объема *planum temporale* имели примерно те же значения: в ЛП – $1,45 \pm 0,12$ см³ ($p = 0,604$), в ПП – $1,42 \pm 0,17$ см³ ($p = 0,199$).

Обсуждение

В результате проведенного исследования показаны принципиальные отличия структурной организации мозга музыкантов и лиц контрольной группы. Установлено увеличение объема ряда корковых структур мозга у мужчин-музыкантов и женщин-музыкантов.

Наши данные согласуются с рядом экспериментальных исследований, которые убедительно показывают, что постоянная тренировка и умственная работа могут приводить к изменению структурной организации мозга людей, повышая общий объем корковых формаций [15].

Музыканты, играющие на фортепиано и достигающие больших результатов в своей профессиональной деятельности, должны много работать. Согласно теории Андреаса Эрикссона, для достижения высоких профессиональных навыков необходимо тренироваться минимум 10 000 ч. Это соответствует примерно 3 ч занятий ежедневно, приблизительно 20 ч в неделю. Эта гипотеза получила название «правило 10 000 часов» [13]. Такие интенсивные систематические занятия и постоянная практика приводят к структурным изменениям всего мозга человека и отдельных корковых структур, в частности. Ряд исследований показывают, что постоянные тренировки людей других профессий также приводят к изменению строения мозга. Об этом свидетельствуют исследования мозга таксистов в Лондоне, где было показано увеличение заднего отдела гиппокампа, который отвечает за пространственное восприятие и пространственную память. Исследователи продемонстрировали, что у водителей такси с большим профессиональным стажем работы наблюдается больший объем каудальных отделов гиппокампа [16]. Обнаружены изменения строения мозга человека при медитации, изучении иностранных языков.

Сравнительный анализ изменения различных отделов мозга музыкантов по сравнению с аналогичными отделами мозга мужчин и женщин контрольной группы убедительно показал увеличение объема верхней височной извилины.

Наши данные согласуются с данными других авторов, также наблюдавших увеличение *planum temporale*, особенно в мозге музыкантов [13, 17, 18].

Исследования некоторых учёных указывают на увеличение объема слуховой коры на 30% в мозге музыкантов по сравнению с тем же отделом коры головного мозга у людей, которые не имели отношения к музыке [19].

В литературе также отмечается, что большое влияние на перестройку мозга музыкантов (пластичность), особенно на изменения височных областей, оказывает абсолютный слух. Однако в литературе описаны знаменитые музыканты (Игорь Стравинский, Майлз Дэвис), у которых абсолютный слух отсутствовал [13].

Сравнительный анализ строения мозга музыкантов и немужиков позволил нам установить увеличение верхней теменной области, как в ПП, так и в ЛП. Возможно, это увеличение может быть связано с тем, что верхняя теменная область принимает участие в интеграции сенсорной информации и осуществляет важную роль в процессе чтения музыкального произведения с листа [20, 21].

В наших исследованиях выявлено увеличение парагиппокампальной извилины, особенно в ПП мозга музыкантов, по сравнению с контрольной группой. Это можно объяснить тем, что парагиппокампальная извилина мозга участвует в осуществлении эмоционально-речевых функций. Ряд авторов отмечает активацию и перестройку парагиппокампальной извилины мозга, особенно в ПП, при прослушивании музыки [22].

Проведённые нами исследования выявили увеличение объема речедвигательной зоны Брока как в мозге мужчин-музыкантов, так и в мозге женщин-музыкантов по сравнению с мужчинами и женщинами контрольной группы. Известно, что занятия музыкой улучшают способность человека обрабатывать звуковые сигналы, а также улучшают речевые функции [23–26]. Некоторые исследователи считают, что речедвигательная зона Брока активно участвует в прослушивании и исполнении музыкальных произведений [27]. С помощью функциональной МРТ показана активация речедвигательной зоны Брока (поля 44 и 45) во время прослушивания любого музыкального произведения, а также отмечается активация премоторной коры (поле 6), орбитальной области нижней лобной извилины (поле 47), верхней височной извилины (поля 21, 37 и 22) [28–30]. Все эти исследования подтверждают тот факт, что процесс речи и музыкальные занятия тесно связаны между собой, а также что музыка стимулирует и улучшает вербальную рабочую память [31, 32].

Большой интерес представляют полученные в наших исследованиях данные, свидетельствующие об увеличении *planum temporale* у мужчин-музыкантов и женщин-

музыкантов по сравнению с лицами контрольной группы. Нами было показано увеличение *planum temporale*, особенно в ЛП мозга.

В результате настоящего исследования становится очевидным, что систематические занятия музыкой изменяют структурно-функциональную организацию мозга. Проводимые исследования говорят о том, что музыка, вызывающая большие пластические изменения в когнитивных функциях человека, может и должна быть использована в лечении ряда неврологических и психиатрических заболеваний. Лечение музыкой может быть

эффективно при реабилитации после инсульта, при нарушениях двигательной активности, тревожных расстройствах и других заболеваниях [33–36].

Заключение

Исследование структурной организации мозга музыкантов убедительно показало наличие значительных пластических изменений большого числа корковых формаций мозга, которые в целом способствуют развитию музыкальных способностей человека, а также речи и когнитивных функций человека.

Список источников / References

- Fuchs E., Flügge G. Adult neuroplasticity: more than 40 years of research. *Neural. Plast.* 2014;2014:541870. DOI: 10.1155/2014/541870
- Davidson R.J., McEwen B.S. Social influences on neuroplasticity: stress and interventions to promote well-being. *Nat. Neurosci.* 2012;15(5):689–695. DOI: 10.1038/nn.3093
- Park D.C., Huang C.M. Culture wires the brain: a cognitive neuroscience perspective. *Perspect. Psychol. Sci.* 2010;5(4):391–400. DOI: 10.1177/1745691610374591
- Shaffer J. Neuroplasticity and clinical practice: building brain power for health. *Front. Psychol.* 2016;7:1118. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.01118
- McEwen B.S. Redefining neuroendocrinology: Epigenetics of brain-body communication over the life course. *Front. Neuroendocrinol.* 2018;49:8–30. DOI: 10.1016/j.yfrne.2017.11.001
- Mateos-Aparicio P., Rodríguez-Moreno A. The impact of studying brain plasticity. *Front. Cell Neurosci.* 2019;13:66. DOI: 10.3389/fncel.2019.00066
- Hubel D.H., Wiesel T.N. Brain mechanisms of vision. *Sci. Am.* 1979;241(3):150–162. DOI: 10.1038/scientificamerican0979-150
- Hubel D.H., Wiesel T.N. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J. Physiol.* 1962;160(1):106–154. DOI: 10.1113/jphysiol.1962.sp006837
- Hubel D.H., Wiesel T.N. Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *J. Physiol.* 1959;148(3):574–591. DOI: 10.1113/jphysiol.1959.sp006308
- Merzenich M.M., Jenkins W.M. Reorganization of cortical representations of the hand following alterations of skin inputs induced by nerve injury, skin island transfers, and experience. *J. Hand Ther.* 1993;6(2):89–104. DOI: 10.1016/s0894-1130(12)80290-0
- Иглмен Д. Живой мозг. Удивительные факты о нейропластичности и возможностях мозга. М.; 2022. 336 с. Eagleman D. A living brain. Amazing facts about neuroplasticity and brain capabilities. Moscow; 2022. 336 p.
- Giroux P., Sirigu A., Schneider F., DuBernard J.M. Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands. *Nat. Neurosci.* 2001;4(7):691–692. DOI: 10.1038/89472
- Бреан А., Скейе Г.У. Музыка и мозг: как музыка влияет на эмоции, здоровье и интеллект. 2021. М.; 2023. 316 с. Brian A., Skeye G.U. Music and the brain: how music affects emotions, health and intelligence. 2021. Moscow; 2023. 316 p.
- Balbag M.A., Pedersen N.L., Gatz M. Playing a musical instrument as a protective factor against dementia and cognitive impairment: a population-based twin study. *Int. J. Alzheimers Dis.* 2014;2014:836748. DOI: 10.1155/2014/836748
- Schwartz J.M., Begley S. The mind and the brain: neuroplasticity and the power of mental force. N.Y.; 2002. 420 p.
- Maguire E.A., Gadian D.G., Johnsrude I.S. et al. Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2000;97(8):4398–4403. DOI: 10.1073/pnas.070039597
- Gaser C., Schlaug G. Gray matter differences between musicians and non-musicians. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2003;999:514–517. DOI: 10.1196/annals.1284.062
- Avanzini G. The neurosciences and music. N.Y.; 2003. 548 p.
- Schneider P., Scherg M., Dosch H.G. et al. Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nat. Neurosci.* 2002;5(7):688–694. DOI: 10.1038/nn871
- Панюшева Т.Д. Музыкальный мозг: обзор отечественных и зарубежных исследований. Асимметрия. 2008;2(2):41–54. Panyusheva T.D. Musical brain: a review of domestic and foreign studies. *Asymmetry.* 2008;2(2):41–54.
- Павлов А.Е. Музыкальная деятельность и её мозговая организация. Вестник Московского Университета. Серия 14. Психология. 2007;(4):92–98. Pavlov A.E. Musical activity and its brain organization. *Bulletin of the Moscow University. Series 14. Psychology.* 2007;(4):92–98.
- Уэйнбергер Н. Музыка и мозг. В мире науки. 2005;Февраль:71–77. Weinberger N. Music and the brain. *World of Science.* 2005;February:71–77.
- Corrigall K.A., Trainor L.J. Enculturation to musical pitch structure in young children: evidence from behavioral and electrophysiological methods. *Dev. Sci.* 2014;17(1):142–158. DOI: 10.1111/desc.12100
- Deguchi C., Boureau M., Sarlo M. et al. Sentence pitch change detection in the native and unfamiliar language in musicians and non-musicians: behavioral, electrophysiological and psychoacoustic study. *Brain Res.* 2012;1455:75–89. DOI: 10.1016/j.brainres.2012.03.034
- Thompson W.F., Schellenberg E.G., Husain G. Decoding speech prosody: do music lessons help? *Emotion.* 2004;4(1):46–64. DOI: 10.1037/1528-3542.4.1.46
- Tierney A., Kraus N. Music training for the development of reading skills. *Prog. Brain Res.* 2013;207:209–241. DOI: 10.1016/B978-0-444-63327-9.00008-4
- Fennell A.M., Bugos J.A., Payne B.R., Schotter E.R. Music is similar to language in terms of working memory interference. *Psychon. Bull. Rev.* 2021;28(2):512–525. DOI: 10.3758/s13423-020-01833-5
- Koelsch S., Fritz T., Schulze K. et al. Adults and children processing music: an fMRI study. *Neuroimage.* 2005;25(4):1068–1076. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2004.12.050
- Tillmann B., Bharucha J.J., Bigand E. Implicit learning of tonality: a self-organizing approach. *Psychol. Rev.* 2000;107(4):885–913. DOI: 10.1037/0033-295x.107.4.885
- Tillmann B., Janata P., Bharucha J.J. Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 2003;16(2):145–161. DOI: 10.1016/s0926-6410(02)00245-8
- Глозман Ш.М., Павлов А.Е. Влияние занятий музыкой на развитие пространственных и кинетических функций у детей младшего школьного возраста. Психологическая наука и образование. 2007;12(3):36–46. lozman Sh.M., Pavlov A.E. The influence of music lessons on the development of spatial and kinetic functions in children of primary school age. *Psychological Science and Education.* 2007;12(3):36–46.
- Сеунг С. Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть. М.; 2018. 442 с. Seung S. Connectome. How the brain makes us what we are. Moscow; 2018. 442 p.
- Särkämö T., Tervaniemi M., Laitinen S. et al. Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. *Brain.* 2008;131(Pt 3):866–876. DOI: 10.1093/brain/awn013
- Schlaug G., Norton A., Marchina S. et al. From singing to speaking: facilitating recovery from nonfluent aphasia. *Future Neurol.* 2010;5(5):657–665. DOI: 10.2217/fnl.10.44
- Sihvonen A.J., Särkämö T., Leo V. et al. Music-based interventions in neurological rehabilitation. *Lancet Neurol.* 2017;16(8):648–660. DOI: 10.1016/S1474-4422(17)30168-0
- Tong Y., Forreider B., Sun X. et al. Music-supported therapy (MST) in improving post-stroke patients' upper-limb motor function: a randomised controlled pilot study. *Neurol. Res.* 2015;37(5):434–440. DOI: 10.1179/1743132815Y.0000000034

Информация об авторах

Боголепова Ирина Николаевна – д.м.н., профессор, академик РАН, зав. лаб. цитоархитектоники и эволюции мозга Института мозга Научного центра неврологии, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8013-2748>

Кротенкова Марина Викторовна – д.м.н., рук. отд. лучевой диагностики Института клинической и профилактической неврологии Научного центра неврологии, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3820-4554>

Коновалов Родион Николаевич – к.м.н., с.н.с. отд. лучевой диагностики Института клинической и профилактической неврологии Научного центра неврологии, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5539-245X>

Агапов Павел Алексеевич – к.б.н., с.н.с. лаб. цитоархитектоники и эволюции мозга Института мозга Научного центра неврологии, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9947-7057>

Малофеева Ирина Григорьевна – м.н.с. лаб. цитоархитектоники и эволюции мозга Института мозга Научного центра неврологии, Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0006-5633-8061>

Бикмеев Александр Тимурзянович – к.ф.-м.н., зав. лаб. математического моделирования Института фундаментальной медицины Башкирского государственного медицинского университета, Уфа, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-3352-5255>

Вклад авторов: *Боголепова И.Н., Кротенкова М.В.* – создание концепции исследования, руководство научно-исследовательской работой; *Коновалов Р.Н.* – разработка методологии; *Агапов П.А.* – проведение исследования, анализ данных; *Малофеева И.Г.* – проведение исследования; *Бикмеев А.Т.* – анализ данных. Все авторы прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Information about the authors

Irina N. Bogolepova – D. Sci. (Med.), Professor, Full Member of RAS, Head, Laboratory of cytoarchitectonics and brain evolution, Brain Institute, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8013-2748>

Marina V. Krotenkova – D. Sci. (Med.), Head, Department of radiation diagnostics, Institute of Clinical and Preventive Neurology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3820-4554>

Rodion N. Kononov – Cand. Sci. (Med.), senior researcher, Department of radiation diagnostics, Institute of Clinical and Preventive Neurology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5539-245X>

Pavel A. Agapov – Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, Laboratory of cytoarchitectonics and brain evolution, Brain Institute, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9947-7057>

Irina G. Malofeeva – junior researcher, Laboratory of cytoarchitectonics and brain evolution, Brain Institute, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0009-0006-5633-8061>

Alexander T. Bikmeev – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head, Laboratory of mathematical modeling, Institute of Fundamental Medicine, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3352-5255>

Authors contribution: *Bogolepova I.N., Krotenkova M.V.* – creation of a research concept, management of research work; *Kononov R.N.* – development of methodology; *Agapov P.A.* – conducting research, data analysis; *Malofeeva I.G.* – researching; *Bikmeev A.T.* – data analysis. All authors made a final approval of the version to be published.