Талабаев М.В., Соловьева А.Ю., Венегас К.Ф., Антоненко А.И.
Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,
Минск, Беларусь

Послеоперационные неврологические нарушения, связанные с удалением новообразований, расположенных в области дополнительной двигательной коры головного мозга у детей, и возможности функциональной магнитно-резонансной томографии в визуализации дополнительных двигательных и речевых отделов коры

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, обработка материала, написание текста – М.В. Талабаев; сбор, обработка материала – А.Ю. Соловьева; сбор графического материала, обработка материала – К.Ф. Венегас; проведение исследований, сбор и обработка материала – Антоненко А.И.

Подана: 01.12.2021

Принята: 10.01.2022

Контакты: talabaevm@inbox.ru

Резюме

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) – важный неинвазивный метод изучения функционального строения головного мозга, применяемый с целью планирования нейрохирургического вмешательства. Сегодня метод используется при новообразованиях, расположенных не только в проекции первичной двигательной, речевой и зрительной коры. Показало свою эффективность изучение дополнительных центров движения и речи. В детской практике применение фМРТ является более сложной задачей, что может стать причиной неоптимальной хирургической помощи по сравнению со взрослыми. В нашем исследовании мы изучили особенности неврологического статуса пациентов, оперированных по поводу опухолей, расположенных в проекции дополнительной двигательной коры, и собственный опыт фМРТ-визуализации дополнительных центров движения и речи коры головного мозга у детей.

Ключевые слова: функционально значимые отделы коры головного мозга, дополнительные двигательные и речевые центры, синдром дополнительной моторной коры, функциональная магнитно-резонансная томография, опухоли головного мозга

Talabaev M., Salauyeva H., Venegas K., Antonenko A.

Republican Research and Clinical Center for Neurology and Neurosurgery, Minsk, Belarus

Possibilities of Imaging of Functional MRI for Postoperative Neurological Outcome after Resection of Supplementary Motor and Speech Area Tumour in Children

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: concept and design of research, processing of material, writing of the text – M. Talabaev; collection, processing of material – H. Salauyeva; collection of graphic material, processing of material – K. Venegas; research, collection and processing of material – A. Antonenko.

Submitted: 01.12.2021

Accepted: 10.01.2022

Contacts: talabaevm@inbox.ru

Abstract

Functional magnetic resonance imaging (fMRI) is an important non-invasive method of studying the functional structure of the brain, mostly used for planning neurosurgical interventions. Nowadays, this method is used for imaging diagnostic of tumor located not only in the projection of the primary motor, speech and visual cortex.

This method has shown high effectiveness in the investigation supplementary motor and language area. In children, the use of fMRI is a more difficult task, which can cause suboptimal surgical care compared to adults. In our study, we investigate the features of the neurological status of patients operated for supplementary motor and speech area tumor and our own experience of fMRI visualization of it.

Keywords: eloquent areas of the cerebral cortex, supplementary motor and speech area, supplementary motor area syndrome, functional magnetic resonance imaging, brain tumors

■ ВВЕДЕНИЕ

При выполнении функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) с двигательными и речевыми парадигмами замечено, что нередко наблюдается активация в отделах коры мозга, которые не являются первичными двигательными или речевыми центрами. Двигательные парадигмы вызывают активацию в задне-медиальных отделах верхней лобной извилины, практически там же может регистрироваться воксельная активность и при выполнении речевых парадигм. Эти отделы коры головного мозга (ГМ) соответствуют медиальной части поля Бродмана 6 (ПБ6). Еще ранее было замечено, что удаление новообразований в медиальной части ПБ6 может вызывать контралатеральный гемипарез, именно поэтому данные отделы коры ГМ стали называть дополнительной моторной областью, в англоязычной литературе называемой supplementary motor area (SMA). Кроме того, у некоторых пациентов кроме двигательного дефицита развивается нарушение речи, напоминающее

моторную афазию. Неврологические расстройства, возникающие после удаления новообразований медиальных отделов ПБб, называют SMA-синдромом.

В условиях, когда опухоль расположена в области первичных речевых центров, определение речевой доминантности может быть значительно затруднено, что увеличивает риски развития речевых нарушений, связанных с операцией. В последние годы замечено, что речевые парадигмы могут вызывать активацию в средней лобной извилине доминантного для речевой функции полушария, хотя операционная травма этих отделов не приводит к речевым нарушениям. Отделы коры в области ПБб и участок коры, активизирующийся в средней лобной извилине доминантного полушария, стали называть дополнительной речевой корой. Сегодня изучается возможность использования активации дополнительных речевых отделов коры при фМРТ с целью определения речевой доминантности. Функциональное картирование стало проводиться с учетом этих отделов мозга, его результаты – учитываться при планировании и выполнении нейрохирургического вмешательства. Важность этих отделов мозга определяется еще и тем, что около 20–30% первичных опухолей ГМ располагаются в лобной доле.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проанализировать собственный опыт фМРТ-визуализации дополнительной моторной коры ГМ у детей и оценить неврологические осложнения, связанные с удалением новообразований данной локализации.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучены результаты фМРТ-визуализации SMA у 34 пациентов детского возраста с новообразованиями ГМ, проходящих предоперационное обследование, а также до- и послеоперационный неврологический статус 13 пациентов детского возраста, оперированных по поводу новообразований ГМ, расположенных в SMA.

Возраст пациентов, проходивших фМРТ-исследование, составил от 7,7 года до 17,7 года. Медиана возраста 11,8 года, средний возраст 12,7 года. Из них было 14 мальчиков и 20 девочек.

Рутинно выполнялась структурная МРТ с оценкой расположения процесса по отношению к полям Бродмана. Показаниями для проведения фМРТ являлись: определение доминантного (для функции речи) полушария; расположение процесса в проекции первичной моторной коры, дополнительной моторной коры (SMA), инсулярной области (доминантной) и зрительной коры. Кроме того, к показаниям к фМРТ относили больших размеров новообразования медиальных отделов височной доли доминантного полушария.

Двигательная активация выполнялась с использованием различных двигательных парадигм, включая блоки одностороннего последовательного сжатия пальцев руки (последовательное соприкосновение большого пальца с остальными) или путем постукивания пальцами руки, повторяющегося сгибания и разгибания пальцев ног или подошвенного сгибания и разгибания в голеностопном суставе. Для активации речевых отделов при сканировании применялись парадигма по тихой генерации слов и задание по завершению предложения. Все это чередовалось с блоками отдыха. Двигательные парадигмы выполнялись 10 пациентами, речевые – 11, 10 исследуемых выполняли и двигательные, и речевые парадигмы. Зрительные

парадигмы – трое пациентов. Правшей в отношении речевой функции было 31, левшей – 3. Психометрическая оценка моторной асимметрии у пациентов была проведена с помощью модифицированной русифицированной Эдинбургской шкалы (Edinburgh Handedness Inventory) [3].

Исследование проводилось на томографе GE Discovery 750W 3T. 176 структурных T1-изображений мозга были получены с помощью последовательности BRAVO (TR/TE/FA – 1800 мс / 2,3 мс / 9°), функциональные T2-изображения были получены с помощью последовательности EPI (TR/TE/FA – 3000 мс / 30 мс / 90°, размер матрицы 64×64, воксел 3×3×3 мм, 30 аксиальных срезов; всего 248 функциональных объемов).

Возраст 13 пациентов, оперированных по поводу новообразований ГМ, расположенных в SMA, варьировал от 3,9 до 17,5 года, медиана возраста 10,9 года, средний возраст 10,2 года. Из них девочек было 6, мальчиков – 7.

Радикальность удаления новообразования для всех пациентов оценивалась по данным протокола операции и результатам МРТ с контрастированием в первые 24 часа после операции.

Гистологически у 8 (61,5%) диагностированы низкоквалифицированные глиальные опухоли, у 5 (38,5) высококвалифицированные. Максимальный линейный размер новообразования колебался от 17 до 69 мм. Тотальное удаление достигнуто в 8 (61,5%) случаях и субтотальное в 5 (38,5%).

Парезы в конечностях до операции диагностированы у 2 (15,4%) пациентов, после операции у 5 (38,5%), т. е. новый неврологический двигательный дефицит получен в 3 (23,1%) случаях.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результат фМРТ-сканирования при выполнении двигательных парадигм

Выполнение двигательных заданий вызвало зарегистрированную активность в проекции контралатеральной двигательной коры у всех 20 (58,8%) испытуемых. Стандартное расположение зон активации коры в прецентральной извилине получено у 16 (80%) пациентов, и у одного выявлено смещение зоны руки в пределах

Рис. 1. Функциональная МРТ: а) зона руки поля Бродмана 4 справа, аксиальная проекция; б) зона руки с двух сторон, фронтальная проекция
Fig. 1. Functional MRI: a) Brodmann area 4 (hand) in the right axial projection; b) hand area on both sides, coronal projection

Рис. 2. Функциональная МРТ (картирование движения): а) 1 – зона дополнительной двигательной коры в задней трети верхней лобной извилины; 2 – зона движения лица, 3D-реконструкция; б) 3 – первичная двигательная кора (зона движения языка), 3D-реконструкция
Fig. 2. Functional MRI (motor mapping): a) 1 – supplementary motor area (SMA) in the posterior third of the superior frontal gyrus; 2 – face movement area, 3D reconstruction; b) 3 – primary motor area (tongue movement), 3D reconstruction

прецентральной извилины латерально. У 3 причиной смещения послужило объемное воздействие патологического процесса (рис. 1).

Двигательные парадигмы вызвали активацию дополнительной моторной коры у 8 (40%) из 20 пациентов, и у всех она располагалась в медиальных отделах задней трети верхней лобной извилины, соответствуя ПБб (рис. 2). У 5 исследуемых отмечалась активация в других отделах коры ГМ, не имеющих отношения к двигательной функции и известным дополнительным центрам. У 4 активация в мозжечке, у трех – в затылочной доле, у одного – в нижней височной извилине.

Результат фМРТ-сканирования при выполнении речевых парадигм

Речевое фМРТ-картирование выполнено 21 пациенту. Из них активация в зоне Брока зарегистрирована у 18 (85,7%), Вернике – у 16 (76,2%), обоих корковых центров – у 12 (57,1%). У пятерых (23,8%) «гиперемия» коры зарегистрирована в проекции речевых центров обоих полушарий, т. е. предполагается, что имеется двустороннее расположение речевых центров. Двусторонняя активация коры, соответствующая Брока, у 4, Вернике – одного пациента (рис. 3). Выполняя фМРТ-речевое картирование, установить доминантное для функции речи полушарие удалось во всех случаях (100%), при этом стандартное расположение обеих речевых зон у 11 (52,4%) исследуемых. Нестандартное расположение зоны Вернике установлено у 3 (14,3%).

Наряду с активацией первичных речевых центров коры у 18 (85,7%) пациентов установлена активация в проекции задней трети верхней лобной извилины доминантного полушария и у 14 (66,7%) в проекции средней лобной извилины доминантного полушария (рис. 4). Из них у 9 (42,9%) активировались передние отделы средней лобной извилины и у 5 задние отделы.

Рис. 3. ФМРТ пациента с двусторонним расположением зоны Вернике: а, б) 1 – зона Вернике слева; 2 – зона языка слева; 4 – опухоль; с, д) 3 – зона Вернике справа
Fig. 3. fMRI of a patient with a bilateral location of the Wernicke's area: а, б) 1 – Wernicke's area on the left; 2 – tongue movement area on the left; 4 – tumor; с, д) 3 – Wernicke's area on the right

Рис. 4. Функциональная МРТ (речевое картирование): а) зоны дополнительной речевой коры в задней трети верхней лобной извилины и в затылочной доле; б) зона дополнительных центров, 3D-реконструкция
Fig. 4. Functional MRI (speech mapping): а) supplementary speech area in the posterior third of the superior frontal gyrus and in the occipital lobe; б) supplementary speech area 3D reconstruction

Выявление участков «гиперемии» коры мозга в проекции дополнительных речевых отделов коры имеет практическое значение, особенно для пациентов, у которых в результате объемного воздействия новообразования или кровоизлияния происходит деформация и смещение отделов мозга, относящихся к первичным речевым центрам. В этой ситуации одним из наиболее важных вопросов является установление речевой доминантности.

Результаты удаления опухолей, расположенных в SMA

Неврологические выпадения в виде гемипареза до удаления новообразования диагностированы у 2 (15,4%), и в обоих случаях это были пациенты с высокозлокачественными опухолями. Пациенты с низкокзлокачественными процессами не имели

неврологических выпадений. В результате операции ухудшение неврологического статуса в виде нарастания пареза на один балл установлено у 4 и у одного пациента с высокозлокачественной опухолью неврологический статус улучшился, парез регрессировал с 3 до 5 баллов. Новый неврологический дефицит развился у 4 (30,8%), все пациенты с низкозлокачественными опухолями. У 1 выявлен парез в кисти со снижением мышечной силы до 4 баллов и у 3 гемипарез со снижением мышечной силы до 4 баллов. Парез в кисти регрессировал в течение 10 дней, гемипарез у 3 пациентов полностью регрессировал в течение двух месяцев. Нарушений речи в послеоперационном периоде не было. У всех пациентов с новым неврологическим дефицитом, связанным с хирургической травмой SMA, двигательные нарушения регрессировали полностью в течение двух месяцев.

В процессе исследования не установлено влияния на частоту развития SMA-синдрома таких факторов, как пол и возраст пациента, степень злокачественности опухоли, радикальность удаления, а также максимальный линейный размер новообразования.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Операционная травма в области первичных двигательных и речевых центров гарантированно приводит к развитию неврологического дефицита. При повреждении медиальных отделов лобных долей развиваются аналогичные нарушения, они имеют свои особенности. Эти отделы коры называют дополнительной двигательной и речевой корой, в англоязычной литературе обозначаемой как SMA (supplementary motor area), а развивающиеся неврологические нарушения называют SMA-синдромом.

SMA-синдром может отличаться по своему характеру, тяжести и скорости регресса, но одной из его особенностей является полное или почти полное восстановление в течение нескольких месяцев [1]. Однозначного анатомо-физиологического обоснования этому феномену до настоящего времени не получено, а ранние исследования не подтвердили наличия в SMA соматотопической организации, подобной первичной моторной коре [6]. Использование результатов функциональной магнитно-резонансной томографии может оказаться полезным как для понимания феномена, так и для прогнозирования риска развития. Единичные работы описывают опыт функциональной визуализации дополнительных моторных и речевых зон у детей.

Анатомические ориентиры

Расположена SMA в медиальных отделах gyrus frontalis superior (область Бродмана 6), ограничена сзади sulcus precentralis, функционально соответствует двигательной области ноги, снизу sulcus cingularis. Передняя и латеральная границы определены хуже. Передняя граница, вероятно простирающаяся до 5 см впереди от sulcus precentralis и сбоку до sulcus frontalis superior, с широкой индивидуальной изменчивостью (рис. 5) [6].

В доминирующем полушарии передняя часть этой области инициирует речь, и ее принято называть pre-SMA. Средняя часть SMA определяет инициацию и программирование движений лица и верхней конечности, а самая задняя часть определяет инициацию и программирование движений нижней конечности. Травма в этих отделах приводит к контралатеральному гемипарезу в сочетании с моторной афазией, некоторыми авторами именуемой мутизмом [7]. Существует предположение,

Рис. 5. Анатомические границы по данным структурной МРТ в аксиальной и сагиттальной проекции: а) 1 – зона дополнительной двигательной коры (аксиальная проекция), ограниченная sulcus precentralis (желтая линия), sulcus frontalis superior (голубая линия); б) сагиттальная проекция, sulcus centralis (красная линия); sulcus precentralis (желтая линия), дополнительная двигательная кора (SMA) (белый круг), Pre SMA (фиолетовый круг)

Fig. 5. Anatomical structural limits shown in MRI, axial and sagittal projection: a) 1 – supplementary motor area limit with precentral sulcus (yellow line), sulcus frontalis superior (blue line); b) sagittal projection, sulcus centralis (red line); sulcus precentralis (yellow line), supplementary motor area (SMA) (white circle), Pre SMA (violet circle)

что SMA в недоминантном полушарии отвечает только за движение. Анатомически граница между SMA и пре-SMA определяется вертикальной линией, проведенной через переднюю комиссуру перпендикулярно линии, проведенной через переднюю и заднюю комиссуры. В англоязычной литературе ее обозначают как vertical line passing through anterior commissure (VCA) [1].

Пре-SMA получает свои афференты из ассоциативных лобных и теменных областей. SMA в основном соединена с первичной моторной корой, задними премоторными областями, а также первичными и вторичными сенсорными областями [1, 18, 19]. Результаты позитронно-эмиссионной томографии показали активацию в SMA или кзади от линии VCA при выполнении простых языковых задач, таких как повторение слов [9]. При этом более сложные задания, такие как задание по тихой генерации слов (пациент молча придумывает слова, начинающиеся с определенной буквы), активировали пре-SMA [1, 20]. Последние фМРТ-исследования с речевыми парадигмами показали активацию в пре-SMA и рядом с линией VCA [14]. Вероятно, SMA участвует в контроле «производства» звука, а пре-SMA имеет отношение к более сложным вербальным задачам [1, 21].

В работе А. Krainik и соавторов (2003) анализируются результаты 12 взрослых пациентов и говорится, что существовала взаимосвязь между возникновением дефицита и процентом резекции зоны активации SMA в доминантном полушарии при речевом картировании [7]. С помощью МРТ было показано, что нарушения речи возникали после резекции по меньшей мере 16% площади активации в SMA доминантного полушария. Нарушение речи получено у 6 (50%) пациентов, восстановление

функции начиналось уже на первой неделе, максимальный срок, понадобившийся для полного восстановления, 8 месяцев. Различной степени выраженности гемипарезы диагностированы у 10 из 12 с максимальным сроком полного восстановления 4 месяца [1].

Клиника повреждения

Движение. Хотя клиническая значимость SMA-синдрома хорошо описана, все еще трудно предсказать, у кого проявятся симптомы [8]. Резекция в области SMA может приводить к транзиторному двигательному дефициту в контралатеральных конечностях [1–9]. Дефицит различается по характеру, тяжести и темпам регресса, но одной из его главных особенностей является его полное или почти полное восстановление в течение нескольких недель или месяцев, как правило, не более 8 [1–8].

Jed Voss и соавт. (2013) проанализировали влияние расстояния от опухоли до зоны активации SMA, полученной при фМРТ у 52 взрослых пациентов с опухолями, расположенными в SMA. Наблюдалась значительная связь между расстоянием от края новообразования до SMA, расстояние больше 2,0 см значительно снижало вероятность двигательных расстройств [3].

Young-Hoon Kim и соавт. пишут, что после резекции SMA у 23 пациентов (53,5%) наблюдался неврологический дефицит. У трех пациентов (7%) развился гемипарез, и он не отстроился, у 20 (46,5%) наблюдались преходящие симптомы, которые включали контралатеральный гемипарез у 15, апраксию у 1, сенсорные нарушения у 1 и дисфагию у 6. Тринадцать пациентов полностью выздоровели в течение 1 месяца. Однофакторный анализ показал, что если удаление затрагивало SMA и *girus cingularis*, то неврологические выпадения встречались достоверно чаще [17].

В одном из редких опубликованных исследований, проведенных только на пациентах детского возраста, после хирургической резекции медиальных отделов лобной доли по поводу эпилепсии у 17 пациентов (44%) развился синдром SMA. Синдром SMA не был связан с возрастом начала припадков, возрастом во время операции, право-/леворукостью, типом припадков, характером патологического процесса, использованием инвазивного мониторинга или типом операции. Интересно, что у пациентов с развившимся SMA-синдромом длительность эпилептического анамнеза до вмешательства была дольше [26]. Авторам удалось установить, что у пациентов без неврологических нарушений у значительно большего числа пациентов на предоперационной МРТ имелся эпилептогенный морфологический субстрат, т. е. эпилепсия была МРТ-позитивна. Было обнаружено, что неврологический дефицит после хирургической резекции может быть связан с расстоянием от края резекции до прецентральной борозды и менее явно зависел от расстояния до *gurus cingularis*. Авторы указывают, что несмотря на то, что расстояние от края резекции до прецентральной борозды и поясной извилины были значительно меньше у пациентов с новым постоянным неврологическим дефицитом, эта разница не была статистически значимой [26]. Из 17 пациентов, у которых развился синдром SMA, у 7 симптомы полностью регрессировали через 1 неделю после операции, еще у 7 симптомы исчезли в период от 1 недели до 1 месяца после операции, а у 3 через 1 месяц после операции. Разрешение синдрома SMA статистически не было связано ни с одним изучаемым фактором, включая тип операции. Авторы описали один случай SMA-синдрома после операции по установке субдуральных сетчатых «*grids*» электродов

и кортикальных электродов по типу полос «strips», а не после хирургической резекции. У этого пациента вскоре после операции развилась контралатеральная гемиплегия и легкая моторная афазия. Двигательные и речевые нарушения полностью отстроились в течение одной недели после операции [26].

Учитывая предполагаемую соматотопическую организацию SMA, монопарезы могут быть теоретически возможны при достаточно незначительном поражении. В опубликованной литературе мы нашли только одну публикацию Nardin Samuel и соавторов с осложнением в виде монопареза в ноге. Авторы считают, что редкость клинического состояния связана с тем, что нога может нуждаться в относительно меньшей представленности, по сравнению с верхней конечностью и/или областью лица, в связи с меньшей необходимостью в точном управлении движениями [6].

Речь. Клинические и электрофизиологические исследования подтверждают роль SMA в нарушении речи. Электрическая стимуляция на уровне передних отделов SMA приводит к остановке речи или ее замедлению [10, 11]. Во время эпилептического приступа возникает остановка речи и вокализация у пациентов с поражением SMA [12, 13]. Нарушение речи наблюдается после инфаркта в бассейне передней мозговой артерии [14–16]. Позитронно-эмиссионные исследования показали активацию в проекции SMA при выполнении простых языковых задач, таких как повторение слов [1, 9]. Это согласуется с работами, описывающими возникновение двигательного дефицита после операции на медиальных отделах лобных долей с селективной резекцией SMA. Результаты также отвергают идею о возможной роли послеоперационного отека или венозного тромбоза в возникновении дефицита. Хотя мы не можем исключить возможность того, что отек в какой-то степени способствует тяжести дефицита. Дефицит возникает раньше, чем развивается отек, и время для восстановления при отеке или тромбозе ожидается более длительное.

В работе А. Krainik и соавт. (2003) анализируются результаты 12 взрослых пациентов и говорится, что существовала взаимосвязь между возникновением дефицита и процентом резекции зоны фМРТ активации SMA в доминантном полушарии при речевом картировании [7]. Результаты МРТ показали, что нарушения речи возникали после резекции по меньшей мере 16% площади активации в SMA доминантного полушария. Нарушение речи получено у 6 (50%) пациентов, восстановление функции начиналось уже на первой неделе, максимальный срок, понадобившийся для полного восстановления, 8 месяцев [1]. И другие авторы показали, что восстановление речи начинается достаточно быстро, но в некоторых случаях растягивается на несколько месяцев. Таким образом, клиническая картина была одинаковой у всех пациентов и дефицит включал в себя производство речи и не затрагивал восприятие [2, 4, 7, 8].

Jed Voss и соавт. (2013), исследовав влияние расстояния от опухоли, расположенной в SMA, до зоны активации в SMA, не установили связи между расстоянием и частотой развития речевых расстройств [3]. Jacob S. Young и соавт. (2021) установили, что объем опухоли в области SMA не коррелировал с частотой развития SMA-синдрома. У пациентов с синдромом были большие резекционные полости в области SMA, но размер резекционной полости в области SMA не коррелировал с тяжестью синдрома. У пациентов, у которых развился синдром, зона резекции была расположена более кзади в области SMA и в поясной извилине [8]. Кроме этого, авторы изучили влияние вовлечения в зону резекции недавно открытого frontal aslant

tract (FAT), связывающего SMA с задней частью *girus frontalis inferior*, соответствующей зоне Брока и функционально имеющей отношение к речевой функции (инициации речи, беглости речи и заиканию). При сохранении FAT синдром SMA после операции развился у 50% пациентов и у 100% пациентов с повреждением FAT во время операции. Пациенты с синдромом SMA имели более длительный срок госпитализации и с большей вероятностью направлялись в реабилитационное учреждение [8].

Изучение данных фМРТ интересует нас не только с точки зрения удаления новообразований из области SMA в ПБб. Опухоли, располагающиеся в проекции первичных речевых центров, могут стать причиной затруднения определения речевой доминантности при попытке активации первичных центров. В этом случае может помочь в определении доминантного для речи полушария активация в дополнительном речевом центре, которым, по некоторым данным, может стать кора средней лобной извилины. В исследовании S. Gohel, A.I. Holodny и соавторов 51 взрослому пациенту проведена фМРТ и сделан вывод, что активация в области *middle frontal gyrus* может использоваться наравне с активацией в зоне Брока для речевой латерализации [4].

Неврологическое восстановление после синдрома SMA может быть тесно связано с реорганизацией и пластичностью нейронов, в первую очередь за счет межполушарных связей как основы восстановления синдрома SMA. Активация контралатеральной SMA приводит к восстановлению двигательной функции обеих сторон тела либо непосредственно, либо путем стимуляции прилегающей коры головного мозга к пораженной SMA [22]. Считается, что проблемы с выполнением двусторонних чередующихся движений у пациентов с SMA-синдромом сохраняются, поскольку противофазные движения требуют двусторонней функции SMA для координации инициирования движения [6, 22]. Таким образом, основа для восстановления функции после односторонних поражений, вероятно, связана с нейрональными связями между пораженной и контралатеральной SMA, включая речевую функцию [23]. Можно предположить, что синдром SMA развивается чаще и проявления более тяжелые при больших резекциях медиальной коры лобной доли. Выраженность пареза и операционная травма поясной извилины коррелировали с временем регресса синдрома SMA [24]. Наконец, наличие рецидивирующего синдрома SMA после повторной операции по поводу опухоли в области SMA дополнительно подтверждает теорию реорганизации функции SMA в соседней ипсилатеральной коре [25]. Случай изолированного пареза нижней конечности как проявления SMA-синдрома лишь подтверждает мысль о том, что SMA соматотопически организована.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый неврологический дефицит, связанный с удалением первичных опухолей головного мозга в проекции SMA у детей, развился в 30,8% случаев и полностью регрессировал в течение 2 месяцев после операции. Несмотря на то, что хирургическая травма в области SMA не так опасна для пациента, как повреждение первичной моторной и речевой коры, способность локализовать эти отделы мозга имеет важное значение для предоперационного планирования. Хирургическая резекция в проекции SMA может быть более агрессивна по сравнению с первичной моторной или речевой корой, так как развивающиеся неврологические нарушения имеют временный характер.

Разработанные парадигмы позволили успешно регистрировать с помощью фМРТ первичные и дополнительные отделы коры, отвечающие за функцию движения и речи у пациентов детского возраста. Активацию в процессе фМРТ в средней лобной извилине можно использовать для определения доминантного для речевой функции полушария.

Пациентам с новообразованиями в SMA целесообразно проводить фМРТ с двигательными и речевыми парадигмами. Возможности фМРТ при планировании нейрохирургического вмешательства и профилактике нового неврологического дефицита требуют дальнейшего изучения.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Krainik A, Lehericy S. Postoperative speech disorder after medial frontal surgery. Role of the supplementary motor area. *Neurology*. 2003;60(4):587–594. DOI: 10.1212/01.WNL.0000048206.07837.59.
2. Bannur U, Rajshekhar V. Post operative supplementary motor area syndrome: clinical features and outcome. *Br J Neurosurg*. 2000;14:204–210. DOI: 10.1080/026886900408379.
3. Voss J, Meier T. The role of secondary motor and language cortices in morbidity and mortality: a retrospective functional MRI study of surgical planning for patients with intracranial tumors. *Neurosurg Focus*. 2013 Apr;34(4):E7. DOI: 10.3171/2013.2.FOCUS12410.
4. Gohel S, Laino M, Rajeev-Kumar G. Resting-State Functional Connectivity of the Middle Frontal Gyrus Can Predict Language Lateralization in Patients with Brain Tumors. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2019 Feb;40(2):319–325. DOI: 10.3174/ajnr.A5932.
5. Grønbaek J, Molinari E, Avula S. The supplementary motor area syndrome and the cerebellar mutism syndrome: a pathoanatomical relationship? *Childs Nerv Syst*. 2020 Jun;36(6):1197–1204. DOI: 10.1007/s00381-019-04202-3.
6. Samuel N, Hanak B, Ku J. Postoperative isolated lower extremity supplementary motor area syndrome: case report and review of the literature. *Childs Nerv Syst*. 2020 Jan;36(1):189–195. DOI: 10.1007/s00381-019-04362-2.
7. Shah K, Hayman L, Chavali L. Glioma in Brodmann area 6: spread pattern and relationships to motor areas. *Radiographics*. 2015 May-Jun;35(3):793–803. DOI: 10.1148/rg.2015140207.
8. Young J, Gogos A, Aabedi A. Resection of supplementary motor area gliomas: revisiting supplementary motor syndrome and the role of the frontal aslant tract. *J Neurosurg*. 2021 Oct 1:1–7. DOI: 10.3171/2021.4.JNS21187.
9. Petersen S, Fox P, Posner M. Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*. 1988 Feb 18;331(6157):585–9. DOI: 10.1038/331585a0.
10. Fried I, Katz A, McCarthy G. Functional organization of human supplementary motor cortex studied by electrical stimulation. *J Neurosci*. 1991;11:3656–3666. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.11-11-03656.1991>.
11. Chauvel P, Rey M, Buser P. What stimulation of the supplementary motor area in humans tells about its functional organization. *Adv Neurol*. 1996;70:199–209.
12. Ackermann H, Daum I, Schugens M. Impaired procedural learning after damage to the left supplementary motor area (SMA). *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1996 Jan;60(1):94–7. DOI: 10.1136/jnnp.60.1.94.
13. Wiesmann U, Niehaus L, Meierkord H. Ictal speech arrest and parasagittal lesions. *Eur Neurol*. 1997;38(2):123–7. DOI: 10.1159/000113175.
14. Pai M. Supplementary motor area aphasia: a case report. *Clin Neurol Neurosurg*. 1999 Mar;101(1):29–32. DOI: 10.1016/s0303-8467(98)00068-7.
15. Alexander M, Schmitt M. The aphasia syndrome of stroke in the left anterior cerebral artery territory. *Arch Neurol*. 1980 Feb;37(2):97–100. DOI: 10.1001/archneur.1980.00500510055010.
16. Masdeu J, Schoene W, Funkenstein H. Aphasia following infarction of the left supplementary motor area: a clinicopathologic study. *Neurology*. 1978 Dec;28(12):1220–3. DOI: 10.1212/wnl.28.12.1220.
17. Kim Y, Kim C, Kim J. Risk factor analysis of the development of new neurological deficits following supplementary motor area resection. *J Neurosurg*. 2013 Jul;119(1):7–14. DOI: 10.3171/2013.3.JNS121492.
18. Picard N, Strick P. Motor areas of the medial wall: a review of their location and functional activation. *Cereb Cortex*. 1996 May-Jun;6(3):342–53. DOI: 10.1093/cercor/6.3.342.
19. Matelli M, Rizzolatti G, Bettinardi V. Activation of precentral and mesial motor areas during the execution of elementary proximal and distal arm movements: a PET study. *Neuroreport*. 1993 Sep 30;4(12):1295–8. DOI: 10.1097/00001756-199309150-00002.
20. Laplane D, Talairach J, Meininger V. Clinical consequences of corticectomies involving the supplementary motor area in man. *J Neurol Sci*. 1977 Dec;34(3):301–14. DOI: 10.1016/0022-510x(77)90148-4.
21. Ramsay S, Adams L, Murphy K. Regional cerebral blood flow during volitional expiration in man: a comparison with volitional inspiration. *J Physiol*. 1993 Feb;461:85–101. DOI: 10.1113/jphysiol.1993.sp019503.
22. Potgieser A, de Jong B, Wagemakers M. Insights from the supplementary motor area syndrome in balancing movement initiation and inhibition. *Front Hum Neurosci*. 2014 Nov; 28(8):960. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00960.
23. Chivukula S, Pikul B, Black K. Contralateral functional reorganization of the speech supplementary motor area following neurosurgical tumor resection. *Brain Lang*. 2018 Aug;183:41–46. DOI: 10.1016/j.bandl.2018.05.006.
24. Nakajima R, Kinoshita M. Recovery time from supplementary motor area syndrome: relationship to postoperative day 7 paralysis and damage of the cingulum. *J Neurosurg*. 2019 Feb 8;132(3):865–874. DOI: 10.3171/2018.10.JNS182391.
25. Abel T, Buckley R, Morton R. Recurrent Supplementary Motor Area Syndrome Following Repeat Brain Tumor Resection Involving Supplementary Motor Cortex. *Neurosurgery*. 2015 Sep;11 Suppl 3(03):447–55; discussion 456. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000847.
26. Kasasbeh A, Yarbrough C, Limbrick D. Characterization of the supplementary motor area syndrome and seizure outcome after medial frontal lobe resections in pediatric epilepsy surgery. *Neurosurgery*. 2012 May;70(5):1152–68. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823f6001.