

МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНАЯ НЕЙРОВІЗУАЛІЗАЦІЯ: ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ В НЕЙРОРАДІОЛОГІИ. ОБЗОР КЛИНИЧЕСКИХ СЛУЧАЕВ

Омельченко А.Н.^{1,2}, Мироняк Л.А.^{2,3}, Рогожин В.А.⁴

¹Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко

²Медицинская клиника «БОРИС»

³ГУ «Институт ядерной медицины и лучевой диагностики НАМН Украины»

⁴Национальная медицинская академия последипломного образования им. П.Л. Шупика

РЕЗЮМЕ. Работа посвящена изучению преимуществ совмещения новых магнитно-резонансных методов исследований головного мозга в один комплекс – мультимодальную магнитно-резонансную нейровизуализацию, для улучшения диагностических возможностей в современной доказательной медицине. Представленные клинические случаи наглядно показывают преимущества мультимодального подхода в современной функциональной нейровизуализации при исследовании пациентов с нейроонкопатологией, нейродегенеративными заболеваниями в педиатрической нейрорадиологии и для более точной МР-диагностики при ишемическом поражении головного мозга.

Данная практическая работа демонстрирует, что комплексное применение методов рутинной и функциональной магнитно-резонансной томографии с 1H МР-спектроскопией *in vivo* и диффузионно-тензорной трактографией способно улучшить качество дифференциальной МРТ-диагностики и предоставить новые возможности для последующего динамического МРТ-наблюдения пациентов. В работе показаны особенности метаболического профиля, структуры проводящих путей, активации коры головного мозга при нейроонкологических заболеваниях, лейкодистрофии и ишемическом инсульте.

Ключевые слова: нейрорадиология, мультимодальная МРТ, функциональная МРТ, диффузионно-тензорная трактография, МР-спектроскопия *in vivo*.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных методов магнитно-резонансной томографии позволяет изучать не только морфологию исследуемых органов, но их функцию в терминах содержания химических соединений [1], тонких изменений кровотока и оксигенации крови [2], а также микроструктурных характеристик диффузии молекул воды [3]. Благодаря этому появилась возможность изучать изменения метаболизма, структуру нейропроводящих путей и картировать функции коры головного мозга при разного рода заболеваниях [4-8]. Таким образом, методы нейровизуализации претерпели как принципиальных изменений, так и концепции подхода к исследованию. На сегодняшний день все более сложные методы и методики используются в современных исследованиях, которые позволяют визуализировать ЦНС как структурно, так и функционально, от макроскопического и до молекулярного уров-

ня. Тем не менее все же остается нерешенным целый ряд вопросов радиологии, в частности нейроонкологии, исследования демиелинизирующих и нейродегенеративных заболеваний, внутриутробного исследования. Фундаментальные научные проблемы, а также прикладные задачи стимулируют развитие новых методов нейровизуализации, которые идут как по пути усложнения оборудования и освоения новых подходов, так и по пути изменения идеологии исследования.

В настоящее время метод магнитно-резонансной визуализации приобрел широкое применение в медицинской радиологии. Отдельными векторами фундаментальных и прикладных исследований начиная с создания первых МР-томографов были исследования метаболизма головного мозга человека методом 1H МР-спектроскопии *in vivo* (МРС) [9], исследование диффузионных характеристик протонов воды методом диффузионной МР-

томографии, а после предложенного исследования преимущественного пространственного направления диффузии (анизотропии диффузии) и микроструктурных характеристик – исследование пучков проводящих путей белого вещества ЦНС – диффузионно-тензорной трактографии (ДТТ) [10], картирование локализованных кортикальных функций головного мозга – методом функциональной МРТ (фМРТ) [11]. По прошествии этапа первичного накопления и анализа данных указанные исследования претерпели методических усовершенствований и перешли из области фундаментальных научных исследований в практический сектор клинического радиологического использования. Возможности каждого отдельно взятого из описанных методов способны расширить радиологическую картину исследуемого методом МРТ органа, давая дополнительно к морфологической МРТ-характеристике сведения о метаболизме ткани, ее микроструктурных характеристиках и выполняемых нейрофизиологических функциях. Широкое использование и внедрение в клиническую нейрорадиологию описанных методов привело к документальному регулированию сфер их приложения такими организациями, как Американский Колледж Радиологии, Американское Общество Нейрорадиологии и Общество Педиатрической Радиологии [12]. В частности, одной из сфер наиболее распространенного приложения методов фМРТ, МРС и ДТТ является предоперационное нейроонкологическое исследование [13-15]. Кроме этого, упомянутые методы нашли свое применение в педиатрической нейрорадиологии, диагностике и мониторинге инсульта, дифференциальной диагностике нейроинфекций, демиелинизирующих и нейродегенеративных заболеваний [16]. Собственно, метод магнитно-резонансной томографии уже является достаточно разносторонним и предоставляет информацию о ЯМР-характеристиках исследуемой ткани при использовании взвешенности МР-сигнала по временам релаксации T1, T2, T2*, магнитовосприимчивости (SWI), фазовому контрасту и визуализации движущегося объекта (TOF-ангиография). Комплексное использование рутинной МРТ, фМРТ, МРС, ДТТ способно более широко дополнить изначальную МР-картину. Таким образом, мультимодальный подход в МР-нейровизуализации способен значительно расширить сферу приложения МРТ и получаемые

этим методом радиологические данные [17, 18]. В работе приведены примеры клинического применения мультимодальной магнитно-резонансной нейровизуализации и проанализированы преимущества предложенного авторами подхода.

МЕТОДИКА

Исследование было проведено с использованием МР-сканнера Signa HDxt 1,5T (General Electric, USA). Пациентам было проведено рутинное МРТ исследование в режимах T2 WI, T2 FLAIR, T1 WI и режиме диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) (b=1000).

Во время фМРТ-исследования пациент выполнял движения правой рукой. Длительность сбора фМРТ-данных составляла 3 мин 24 с. Выполнение двигательного задания чередовалось с периодами покоя и было сформировано в 3 блока, каждый из которых длился 28 с. Парадигма активации начиналась и заканчивалась периодами покоя. T2*-взвешенные изображения были получены методом градиентного эхо в режиме эхо-планарной томографии (GE EPI). Параметры сбора данных следующие: TR/TE=3000/71 мс, пауза после каждого сканирования — 1 с, FA=90°, NEX=1, размер вокселя — 4x4x6 мм. С целью дальнейшего топографического анализа были получены T1-взвешенные структурные анатомические изображения головного мозга высокого разрешения (импульсная последовательность FSPGR). Параметры сбора данных следующие: TR=11,6 мс, TE=5,2 мс, TI=450 мс, размер вокселей=0,98x1x1,5 мм. Статистический анализ был проведен методом множественной линейной регрессии как составной части общего линейного моделирования. Обработка экспериментальных данных проведена с помощью программного обеспечения FSL (FMRIB, Oxford, GB) [19].

При 1H МР-спектроскопии *in vivo* спектры были получены методом одновоксельной спектроскопии с помощью импульсной последовательности PROBE-P (PRESS) со следующими характеристиками сбора данных (TR=1500 мс, TE=144 мс, NEX=8), размеры вокселя составили 20x20x20 мм. Сбор МРС-данных был проведен с одновременным подавлением сигнала воды. Обработка данных, расчет интенсивностей исследованных метаболитов и их соотношений были проведены с помощью программного обеспечения FuncTool v4.3 (GE, USA).

При ДТТ изображения были получены методом EPI SE, TR=8000, TE=101 мс, FA=90, NEX=1, размеры вокселя — 0,94x0,94x4 мм, количество кодированных направлений диффузии составило 25. Обработка данных, расчет показателей фракционной анизотропии, реконструкция трактов были проведены с помощью программного обеспечения Brain-Wave PA (GE, USA).

Клинический случай № 1

Диагноз: внутримозговое новообразование.

Методы исследования: МРТ, ДТ-трактография.

Пациент П. (м., 30 лет) наблюдается с 2012 года по поводу внутримозгового кистозно-солидного новообразования левого полушария большого мозга. В 2016 году при МРТ-исследовании отмечена отрицательная радиологическая динамика заболевания с ухудшением клинического статуса, проявляющегося умеренным правосторонним парапарезом, редкими судорожными состояниями и нарастающей афазии.

В связи с запланированным оперативным лечением было проведено рутинное (до и после внутривенного введения парамагнитного контрастного препарата гадобутрола

(«Гадовист 1.0», Байер, Германия)) и диффузионно-тензорное МР-исследование (рис. 1). По данным рутинного МРТ определили точную локализацию, размеры опухоли, ее структуру по характеру накопления парамагнетика. Методом диффузионно-тензорной МР-трактографии было проведено исследование прилежащих к образованию проводящих путей. Выявлено нарушение структуры белого вещества и проводящих путей в зоне образования (кистозно-солидного компонента) и в зоне перифокального отека, что проявляется в снижении показателей фракционной анизотропии (FA=0,143, в сравнении с симметричной зоной контралатерального полушария FA=0,296). Вследствие масс-эффекта от образования и отека визуализируется деформация и смещение основных проводящих путей левого полушария: кортикоспинального тракта, волокон мозолистого тела, нижнего и верхнего продольных пучков (*inferior/superior longitudinal fasciculi*), дугообразного пучка (*arcuate fasciculus*), являющихся основными проводящими путями между лобной и теменной и затылочными долями, а также между основными речевыми центрами (*planum temporale* и *inferior posterior superior frontal gyrus*: зонами Вернике/Брока). Стоит отметить, что левый

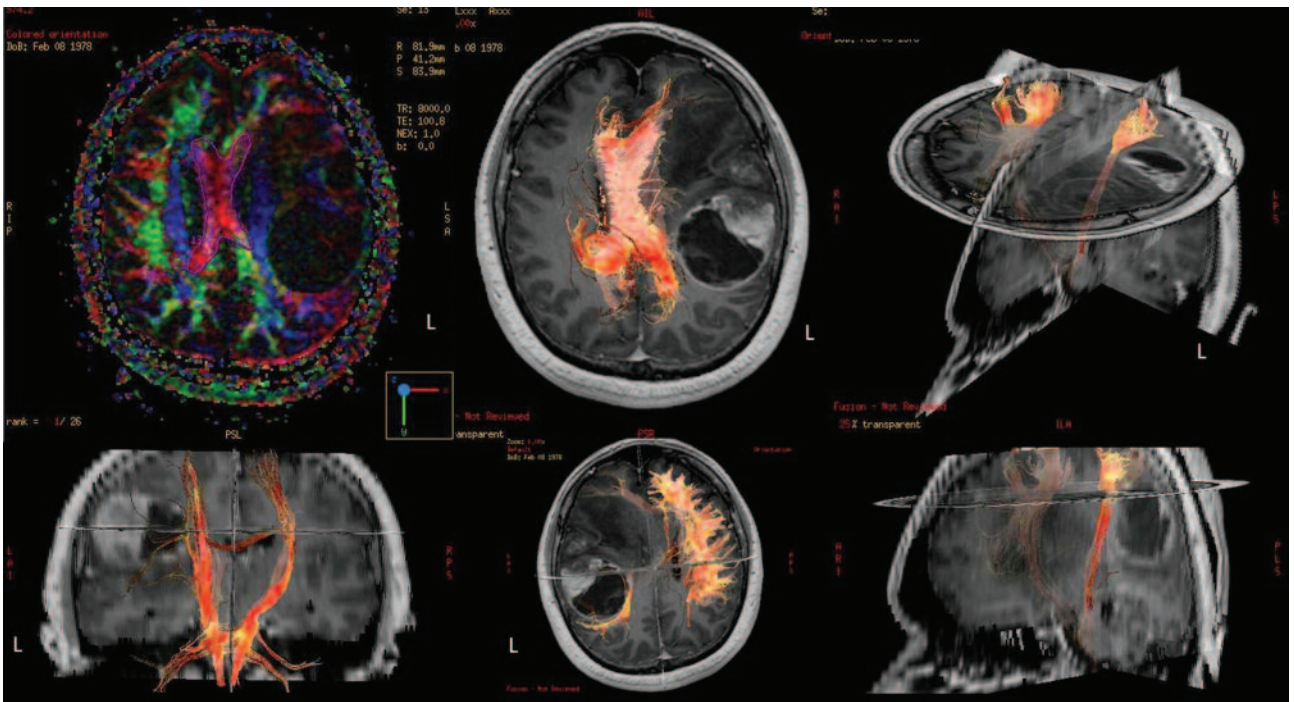


Рис. 1. Деформация и смещение основных проводящих путей вследствие масс-эффекта от внутримозгового новообразования и отека в левом полушарии головного мозга. Левый пучок кортикоспинального тракта и волокна валика мозолистого тела тесно прилежат к кистозному компоненту образования

пучок кортикоспинального тракта и волокна валика мозолистого тела тесно прилежат к кистозному компоненту описанного образования, в частности волокна кортикоспинального тракта, исходящие из «омегаподобного» изгиба прецентральной извилины левого полушария — первичной двигательной коры правой руки.

Клинический случай № 2

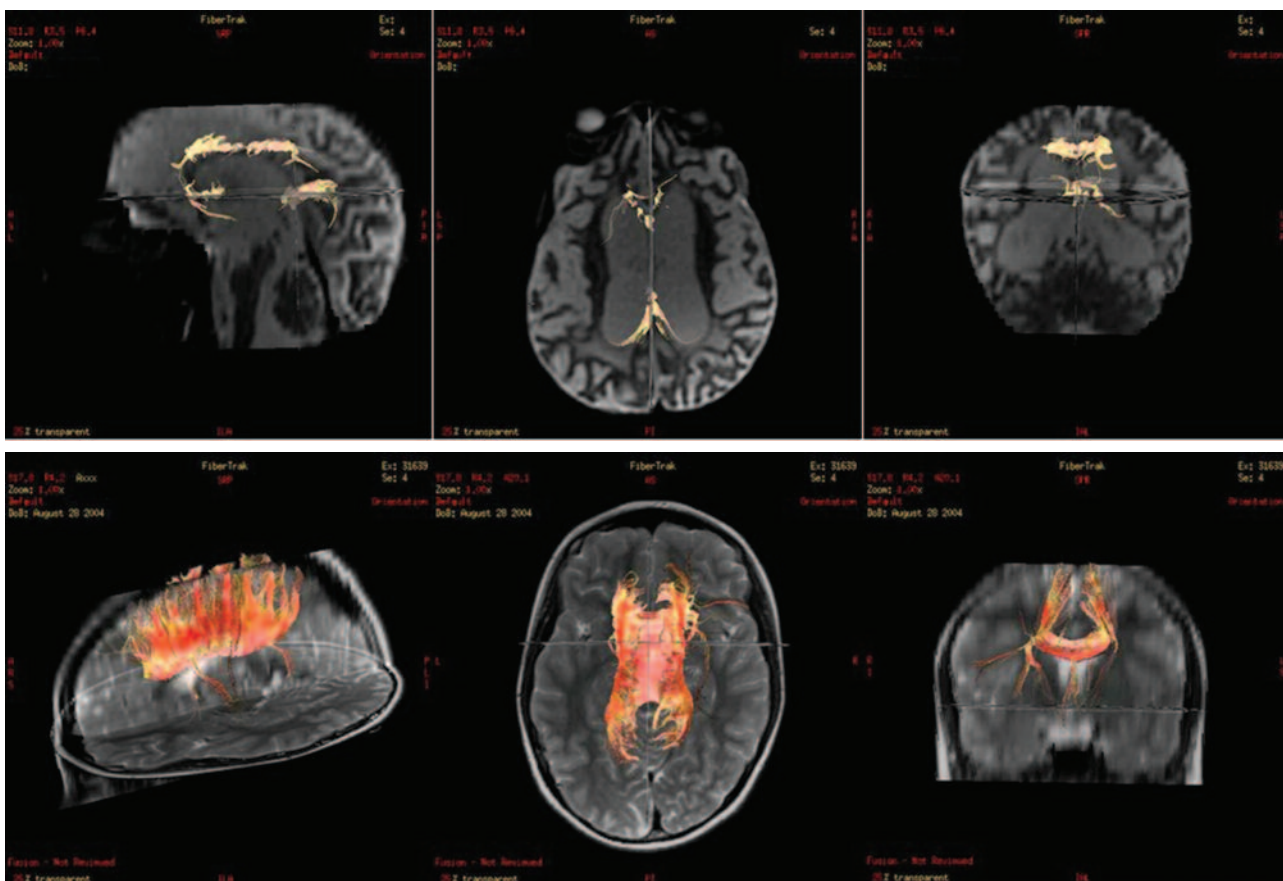
Диагноз: прогрессирующая лейкодистрофия.

Методы исследования: МРТ, МР-спектроскопия, ДТ-трактография.

Пациентка З. (ж., 11 лет) поступила на обследование с выраженным неврологическим дефицитом, который проявлялся в прогрессирующем тетрапарезе, афазии, дисфагии, судорожном синдроме. В анамнезе у пациентки значился эпизод нейротоксического медикаментозного воздействия, приведший к манифестации описанных симптомов с последующим затяжным периодом лечения и реабилитации.

Было проведено рутинное МРТ, диффузионно-тензорное МР-исследование и 1H МР спек-

троскопия *in vivo*. По данным рутинного МРТ обнаружены множественные, сливающиеся между собой энцефаломалиционные полости. Боковые и третий желудочки неравномерно расширены, деформированы (рис. 2B). Объем белого вещества лобных, теменных и затылочных долей уменьшен. Мозолистое тело резко истончено, прослеживается фрагментарно. Методом диффузионно-тензорной МР-трактографии было проведено исследование проводящих путей. Выявлено нарушение структуры белого вещества и проводящих путей в полушариях большого мозга, что проявляется в снижении показателей фракционной анизотропии (FA=0,108-0,160, в сравнении с референтными значениями FA=0,250-0,550). Обнаружено истончение и нарушение целостности волокон основных проводящих путей: кортикоспинального тракта, лучистого венца, мозолистого тела (рис. 2A) в сравнении с трактографической картиной у здоровыми волонтеров (рис. 2Б). Методом одновоксельной 1H МР-спектроскопии *in vivo* были получены данные о содержании основных церебральных метаболитов. Спектры были получены в области ствола и варолиева моста головного мозга (ROI.1), а также в белом



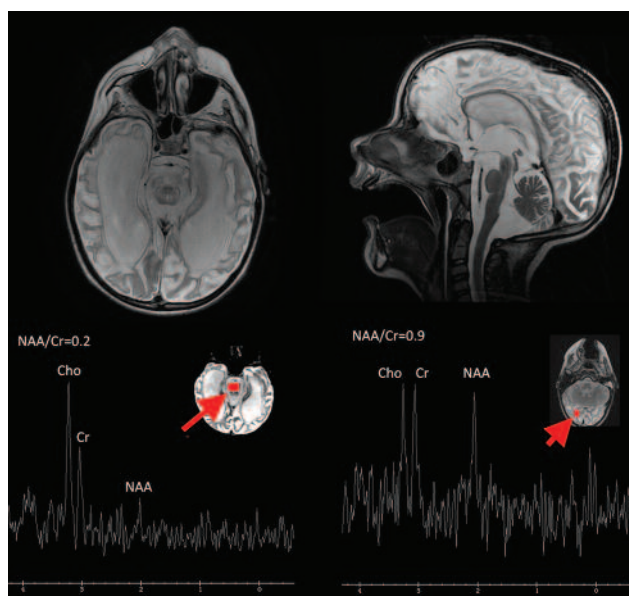


Рис. 2. А. Нарушение целостности и структуры волокон основных проводящих путей головного мозга вследствие энцефаломалации.

Б. Визуализация основных проводящих путей головного мозга (аналогичных представленным на А.) у здорового волонтера. **В.** Уменьшение содержания основных церебральных метаболитов в головном мозге пациентки 3. Показано снижение концентрации NAA

веществе затылочной доли правого полушария головного мозга (ROI. 2). Анализ полученных спектров свидетельствует о снижении концентрации NAA и соотношения NAA/Cr (ROI.1=0,2, ROI. 2=0,9, при референтных значениях соотношения NAA/Cr=2,0-2,5), что свидетельствует в пользу уменьшения содержания нейроцитов в исследуемых участках мозга (рис. 2B). В полученных спектрах значительно снижены пики от всех исследуемых церебральных метаболитов (NAA, Cr, Cho), что свидетельствует о нарушении метаболической целостности исследуемой ткани в целом, а также о снижении и нарушении пролиферативной и энергообменной функции ткани.

Таким образом, исходя из совместного анализа полученных данных МРТ, МРС, ДТТ можно заключить, что имеет место дегенеративно-дистрофическое поражение паренхимы и кортико-субкортикальных структур, что проявляется в снижении метаболической активности и нарушении архитектоники основных проводящих путей головного мозга.

Клинический случай № 3

Диагноз: новообразование ствола мозга.

Методы исследования: МРТ, МР-спектроскопия, ДТ-трактография.

Пациент С. (м., 11 лет) наблюдается с 2015 года по поводу глиомы ствола головного мозга. В ходе лечения была проведена лучевая и химиотерапия. В 2016 году при МРТ-исследовании выявлена отрицательная радиологическая динамика заболевания с ухудшением

клинического статуса, проявляющегося левосторонним паром дистальных отделов верхней и нижней конечности. Было проведено рутинное (до и после внутривенного введения парамагнитного контрастного препарата гадобутрола («Гадовист 1.0», Байер, Германия)) и диффузионно-тензорное МР-исследование. По данным МРТ на фоне лечения размеры объемного образования в стволе уменьшились, появились множественные очаги постлучевого некроза, однако обнаружены супратенториальные очаги мультифокального mts-отсева.

Методом диффузионно-тензорной МР-трактографии было проведено исследование проводящих путей и выявлено нарушение их структуры в области образования, что проявлялось в снижении показателей фракционной анизотропии (FA=0,106, в сравнении с симметричной зоной ствола мозга FA=0,253). Вследствие масс-эффекта от образования выявлено деформацию и смещение основных проводящих путей ствола мозга: кортикоспинального тракта, поперечных волокон варолиева моста, волокон медиального лемниска (рис. 3А). Стоит отметить, что в области образования была затруднена визуализация правого медулярного пучка кортикоспинального тракта ввиду его деструкции опухолью.

Методом одновоксельной ^1H МР-спектроскопии *in vivo* были получены данные о содержании основных церебральных метаболитов. У пациента С. спектр был получен в области ствола и варолиева моста головного мозга (ROI.1) в зоне новообразования. Анализ полученных данных свидетельствует о снижении

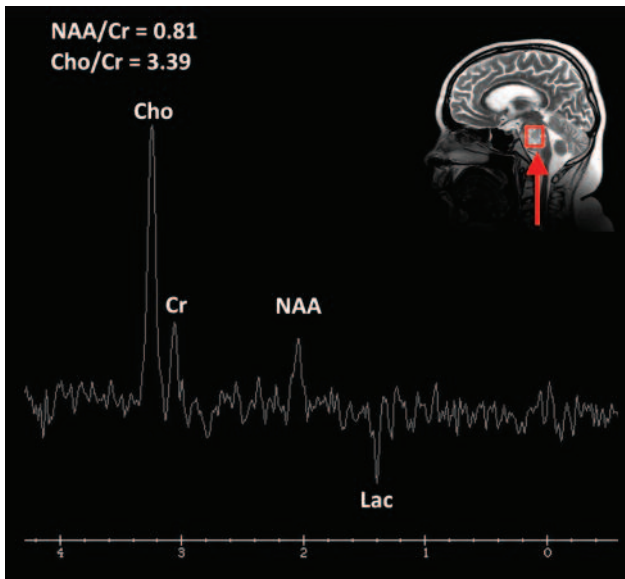
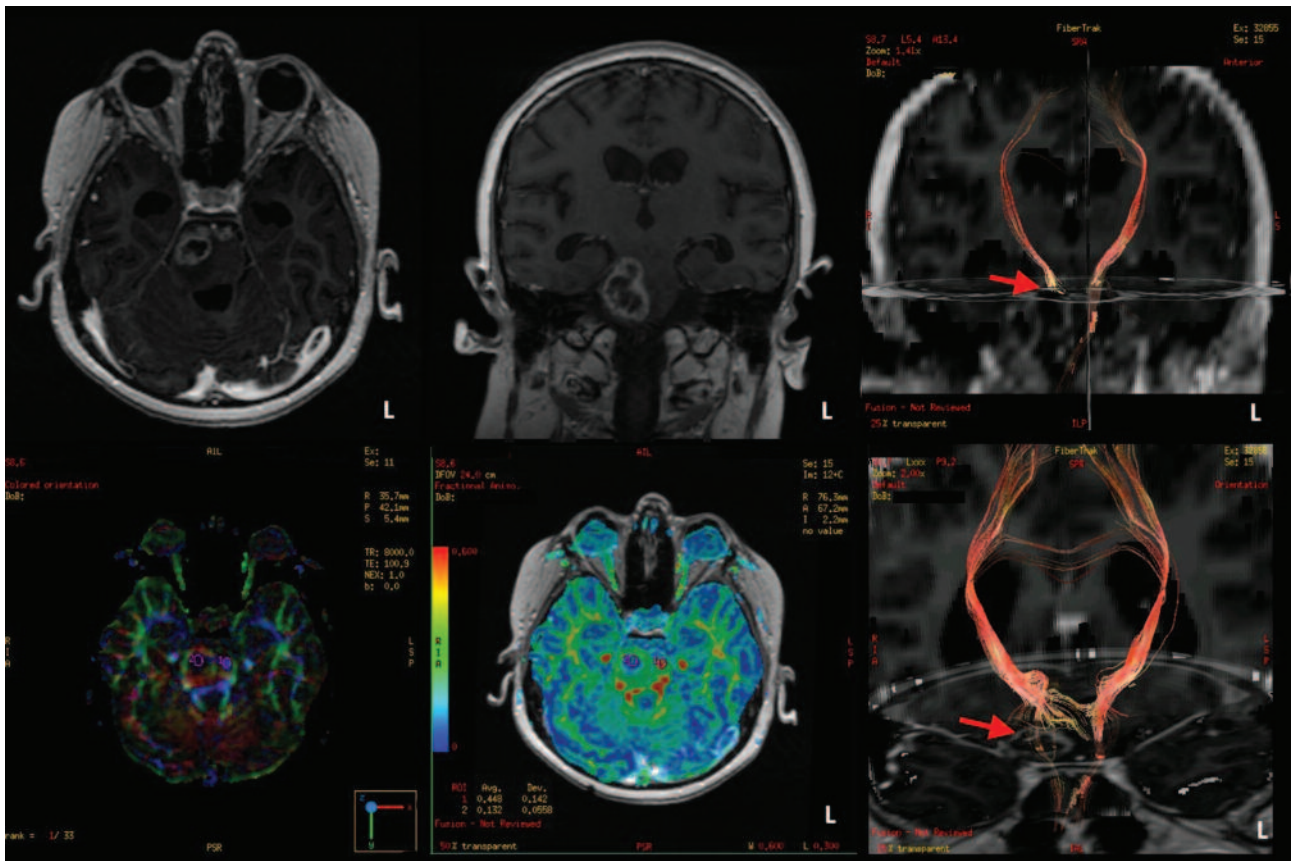


Рис. 3. А. Деструкція опухолью правого медулярного пучка кортикоспинального тракта (красная стрелка). **Б.** Уменьшение содержания NAA и увеличение концентрации Cho по данным MPC

концентрації NAA і соотношения NAA/Cr (ROI.1=0,8, при референтних значеннях соотношения NAA/Cr=2,0-2,5), що свідчить про зменшення вмісту нейронів в досліджуваній частині мозку (рис. 3Б). В той же час виявлено значне збільшення концентрації Cho і його соотношения з Cr (Cho/Cr=3,39, при референтних значеннях 1,5-1,8), що може свідчити про підвищену проліферативну активність в досліджуваній частині і є нехарактерним для нормально функціонуючої нервової

ткани. На спектрі виявлено збільшення концентрації лактату (Lac), що є показником порушення аеробного енергообміну і ознакою анаеробного гліколізу.

Таким чином, виходячи з спільного аналізу отриманих даних МРТ, MPC, ДТТ можна зробити висновок, що відбувається процес постлучового некрозу, так і пролонгація захворювання. Опухоль викликає деструкцію правого пучка медулярної частини кортикоспинального тракта.

Клинический случай № 4

Диагноз: лакунарный ишемический инсульт.

Методы исследования: МРТ, фМРТ, ДТТ.

Пациент Б. (м., 54 года) поступил на обследование с предварительным диагнозом: подострая недостаточность мозгового кровообращения, моторная афазия. При нативном МРТ в проекции коры и субкортикального белого вещества левой теменной доли (надкраевая извилина) выявлен очаг измененного МР-сигнала с ограничением диффузии на ДВИ (b-фактор=1000) и ADC-картах, что характерно для ишемического (цитотоксического) отека.

Методом диффузионно-тензорной МР-трактографии было проведено исследование проводящих путей и выявлено нарушение их структуры в гиперинтенсивного на ДВИ очага, что проявлялось в снижении показателей фракционной анизотропии (FA=0,087, в сравнении с симметричной зоной правого полушария головного мозга FA=0,357). В области описанного очага была затруднена визуализация кортико-кортикальных волокон левой надкраевой извилины ввиду поражения указанной зоны цитотоксическим отеком (рис. 4А).

Методом функциональной МРТ проведено картирование зон коры головного мозга, выполняющих функцию контроля двигательной активности правой верхней конечности. В результате анализа данных фМРТ выявлено активацию коры в области пре- и постцентральной извилин левого полушария головного мозга, что соответствует первичной сенсомоторной области (рис. 4Б). Участки активации также были выявлены в области четырехугольной и полулунной долек обоих полушарий мозжечка, в области медиальной части задней трети верхнелобной извилины (дополнительная моторная кора). Стоит отметить, что зона ишемического поражения занимала речевой центр, а именно зону Вернике и частично *planum temporale*, с чем могла быть связана частичная афазия. Анализ активации коры головного мозга при аудиомоторной трансформации звуковых команд в двигательную активность показал активацию зон, тесно прилегающих к очагу ишемии, но не перекрывающихся с ним. Стоит отметить, что к моменту исследования речевые функции у пациента в значительной степени восстановились. Следовательно, были показаны пластические изменения одного из высших речевых цент-

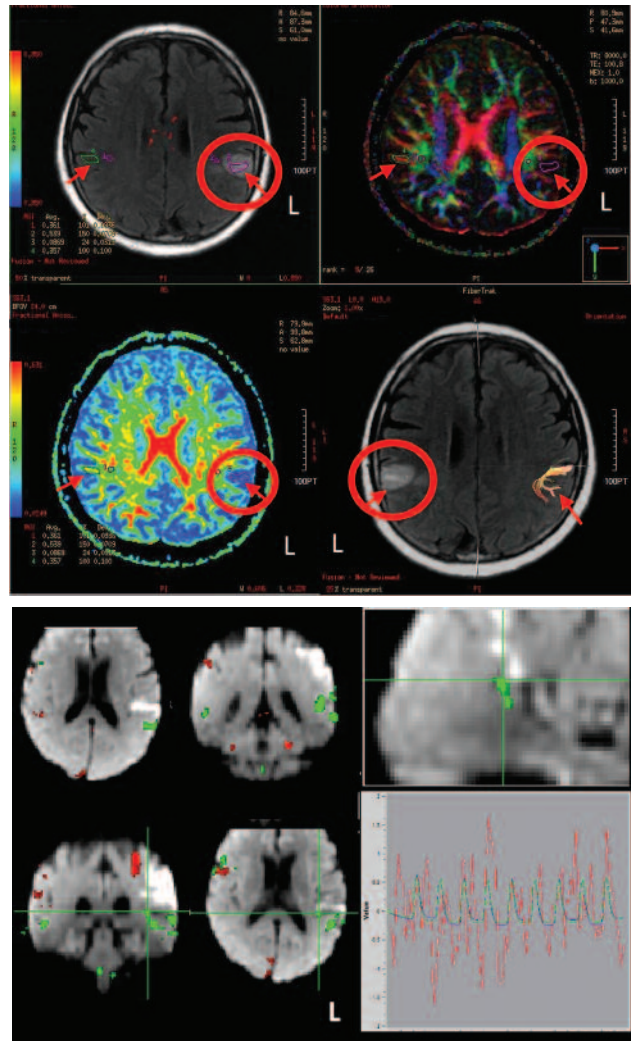


Рис. 4. А. Поражение кортико-кортикальных волокон левой надкраевой извилины у пациента с подострой недостаточностью мозгового кровообращения (красный круг со стрелкой). **Б.** Пластические изменения и миграция зон, контролирующих речевые функции (зеленый), при аудиомоторной трансформации речевых команд в двигательную активность (красный)

ров и миграция зон, контролирующих речевые функции.

Таким образом, исходя из совместного анализа полученных данных МРТ, фМРТ, ДТТ можно заключить, что имеет место ишемическое поражение речевой коры с повреждением проводящих волокон в области ишемии, а также компенсаторные изменения ранее поврежденного речевого центра.

Краткая характеристика использованных методов

Метод функциональной МРТ (фМРТ), изучающий индивидуальную гемодинамическую реакцию участков головного мозга на

раздражитель, известен в литературе как «blood oxygenation level dependent» (BOLD) фМРТ [20]. Метод впервые был предложен в начале 1990-х S. Ogawa и соавт. [21]. В основном этот метод используется для функционального картирования коры головного мозга при выполнении двигательных, речевых, сенсорных и когнитивных заданий. На данный момент метод приобрел широкое распространение. Благодаря хорошему пространственному разрешению он широко используется для картирования функций головного мозга во многих научных и медицинских центрах. В фМРТ-исследованиях под зонами активации подразумевают те участки коры и подкорки, изменение BOLD-сигнала в которых положительно коррелирует с выполнением задания [22].

Диффузионная тензорная трактография – метод, который очень бурно развивается, применяется последних два десятилетия, апогеем которого стал масштабный проект The Human Connectome Project [23]. Диффузионно-взвешенная МРТ (ДВИ, Diffusion Weighted Imaging, DWI) [24] является неинвазивным, не требующим введения контрастных препаратов, подвидом рутинной МРТ, способным визуализировать степень диффузии молекул воды в ткани. Применение тензорного анализа к данным ДВИ привело к появлению метода диффузионно-тензорной МРТ-трактографии (ДТТ, Diffusion Tensor Imaging, DTI) [25], который в отличие, от ДВИ, обладающей взвешенностью по диффузионным характеристикам полученных данных, указывает на использование тензорного анализа для обработки данных. Поскольку диффузия молекул воды в ткани мозга зависит от ее характеристик, а именно типа, целостности, архитектуры и наличия барьеров, данные DTI предоставляют информацию о направлении диффузии и количественных характеристиках анизотропии [26]. Basser с соавт. было предложено смоделировать диффузию в проводящих путях головного мозга с помощью эллипсоида, описываемого тремя векторами, выражаемыми в виде тензора – матрицы 3x3 [25]. Диффузионные характеристики молекул воды в ЦСЖ – изотропна (не ограничена в разных направлениях пространства), в коре ГМ, состоящей в основном из тел нейронов, аксонов, дендритов и глиальных клеток, в некоторой степени ограничена (анизотропна), но не имеет четкой направленности, а в белом

веществе – ограничена и существенным образом направлена вдоль проводящих волокон – пучков аксонов, покрытых миелином. С помощью ДТТ-анализа можно определить: степень диффузии молекул – усредненную диффузионную способность (mean diffusivity, MD) или же измеряемый коэффициент диффузии (Apparent Diffusion Coefficient, ADC), а также преимущественность направления диффузии – фракционную анизотропию (Fractional Anisotropy, FA).

Метод ^1H МР-спектроскопии *in vivo* является клиническим приложением ЯМР-спектроскопии и базируется на явлении химического сдвига резонансной частоты протонов, отличающихся по своему строению химических соединений (в частности, нейрометаболитов) относительно стандартного химического соединения [1, 14, 27]. В прикладной клинической ^1H МР-спектроскопии *in vivo* стандартным принято считать ЯМР-сигнал от тетраметилсилана (ТМС). ЯМР-сигнал от протонов выявляемых нейрометаболитов отличается на миллионные доли от резонансной частоты ТМС, и частоту их резонанса принято выражать в миллионных долях резонансной частоты (м.д.). Методом ^1H МР-спектроскопии *in vivo* можно получить информацию о содержании в головном мозге свободных аминокислот (N-ацетиласпартата и N-ацетиласпартилглутарата (tNAA, 3,02 м.д.), глутамина, глутамата и γ -аминобутирата (Glx)), о процессе гликолиза и накоплении в ткани лактата (Lac, 1,3 м.д.), о процессах энергообмена креатина и фосфокреатина (tCr), о пролиферацию клеток по сигналу холина и фосфохолина (tCho) и их структуре по сигналу липидов (Lip), а также об осмолитических процессах по сигналу инозитол (Ins) [4]. Сигналы основных церебральных метаболитов наблюдаются в интервале химических сдвигов от 0 до 5 м.д. При напряженности поля 1,5 Т интервал 5 м.д. составляет 320 Гц для рабочей частоты 63,4 МГц [27]. При проведении исследования на МРТ-приборе с напряженностью магнитного поля 1,5 Т количественно удаётся определить содержание трех основных метаболитов головного мозга: tNAA, tCr, tCho (tNAA – маркера целостности нейрональной ткани, tCr – маркера энергообеспеченности ткани, tCho – маркера пролиферативной активности). Для количественного определения содержания остальных метаболитов необходимо применение более сложных методов анализа.

ВЫВОД

В заключение отметим, что благодаря возможностям использованных методов МР-спектроскопии, функциональной МРТ и диффузионно-тензорной трактографии, а также их взаимодополняющим свойствам удастся значительно расширить спектр получаемых данных в нейроонкологии, при дегенеративных заболеваниях ЦНС и метаболических изменениях в ткани головного мозга, что позволит клиницисту выработать правильную тактику ведения пациентов без использования инвазивных методов диагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Öz G., Alger J.R., Barker P.B., Bartha R., Bizzi A., Boesch C. et al. Clinical proton MR spectroscopy in central nervous system disorders // *Radiology*. – 2014. – 270 (3). – P. 658-79.
2. Logothetis N.K. What we can do and what we cannot do with fMRI // *Nature*. – 2008. – 453 (7197). – P. 869-78.
3. Sundgren P., Dong Q., Gomez-Hassan D., Mukherji S., Maly P., Welsh R. Diffusion tensor imaging of the brain: review of clinical applications // *Neuroradiology*. – 2004. – 46 (5). – P. 339-50.
4. Рожкова З., Кульчицкий О. Магнитно-резонансная спектроскопия (in vivo 1H МРС) в клинической неврологии // *Международный неврологический журнал*. – 2016. – 83 (5). – С. 13-26.
5. Omelchenko O., Rozhkova Z., Strepetova O. Peculiarities of the neurovascular haemodynamic response for the brain cortex activation in norm and in acute stroke: functional MRI study // *Heart Vessels*. – 2016. – 53 (1). – P. 46-52.
6. Stebliuk V., Striltsiv O., Omelchenko O. Combined Psycho-Physical Neurofeedback Therapy in the Stimulant Addiction Treatment: Clinical-Psychological and EEG/fMRI Study // *Journal of Health Sciences*. – 2013. – 3 (10). – P. 325-36.
7. Рожкова З., Кобысь Т., Омельченко А. Применение in vivo 1H МРС для количественной оценки эффективности препарата Копаксон при лечении пациентов с рецидивирующей формой рассеянного склероза // *Международный неврологический журнал*. – 2011. – 3. – С. 41.
8. Рогожин В., Рожкова З., Карабань Н. Магнитно-резонансная спектроскопия (1H МРС) как метод диагностики особенностей метаболизма головного мозга у пациентов с болезнью Паркинсона // *Український медичний часопис*. – 2005. – 48 (4). – P. 74-8.
9. Frahm Ja., Bruhn H., Gyngell M., Merboldt K., Hancin W., Sauter R. Localized high-resolution proton NMR spectroscopy using stimulated echoes: Initial applications to human brain in vivo // *Magn. Reson. Med*. – 1989. – 9 (1). – P. 79-93.
10. Turner R., Le Bihan D., Maier J., Vavrek R., Hedges L.K., Pekar J. Echo-planar imaging of intravoxel incoherent motion // *Radiology*. – 1990. – 177 (2). – P. 407-14.
11. Bandettini P.A., Wong E.C., Hinks R.S., Tikofsky R.S., Hyde J.S. Time course EPI of human brain function during task activation // *Magn. Reson. Med*. – 1992. – 25 (2). – P. 390-7. PubMed PMID: 1614324.
12. ACR-ASNR-SPR Practice parameters for the performance and interpretation of magnetic resonance spectroscopy of the central nervous system. – 2013.
13. Stippich C. *Clinical functional MRI*. – Springer, 2007.
14. Barker P.B., Bizzi A., De Stefano N., Lin D.D. *Clinical MR spectroscopy: techniques and applications*. – Cambridge University Press, 2010.
15. Stieltjes B., Brunner R.M., Fritzsche K., Laun F. *Diffusion tensor imaging: introduction and atlas*. – Springer Science & Business Media, 2013.
16. Faro S.H., Mohamed F.B., Law M., Ulmer J.T. *Functional neuroradiology: principles and clinical applications*. – Springer Science & Business Media, 2011.
17. Kabir Y., Dojat M., Scherrer B., Forbes F., Garbay C., editors. *Multimodal MRI segmentation of ischemic stroke lesions. Engineering in Medicine and Biology Society, 2007 EMBS, 2007 29th Annual International Conference of the IEEE*. – 2007: IEEE.
18. Yang H., He H., Zhong J. Multimodal MRI characterisation of schizophrenia: a discriminative analysis // *The Lancet*. – 2016. – 388. – S36.
19. Friston K.J., Holmes A.P., Worsley K.J., Poline J.P., Frith C.D., Frackowiak R.S. Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach // *Hum. Brain Mapp*. – 1994. – 2 (4). – P. 189-210.
20. Heerden J., Desmond P.M., Phal P.M. *Functional MRI in clinical practice: A pictorial essay* // *J. Med. Imaging Radiat. Oncol*. – 2014. – 58 (3). – P. 320-6.
21. Ogawa S., Lee T., Kay A., Tank D. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation // *Proc. Natl. Acad. Sci*. – 1990. – 87 (24). – P. 9868-72.
22. Moonen C.T.W., Bandettini P.A., editors. *Functional MRI*. – New York: Springer, 2000.
23. Van Essen D.C., Smith S.M., Barch D.M., Behrens T.E., Yacoub E., Ugurbil K. et al. The WU-Minn human connectome project: an overview // *Neuroimage*. – 2013. – 80. – P. 62-79.
24. Le Bihan D., Breton E., Lallemand D., Grenier P., Cabanis E., Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders // *Radiology*. – 1986. – 161 (2). – P. 401-7.

25. Basser P.J., Mattiello J., LeBihan D. MR diffusion tensor spectroscopy and imaging // *Biophys. J.* – 1994. – 66 (1). – P. 259-67.
26. Chenevert T.L., Brunberg J.A., Pipe J.G. Anisotropic diffusion in human white matter: demonstration with MR techniques in vivo // *Radiology.* –

1990. – 177 (2). – P. 401-5.
27. Рожкова З. 1H *in vivo* для установлення зв'язи между локальним состоянием головного мозга человека и магнитно-резонансными характеристиками церебральных метаболитов: Дис... канд. физ.-мат. наук. – 2005.

МУЛЬТИМОДАЛЬНА МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНА НЕЙРОВІЗУАЛІЗАЦІЯ: ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ В НЕЙРОРАДІОЛОГІЇ. ОГЛЯД КЛІНІЧНИХ ВИПАДКІВ

Омельченко О.М.^{1,2}, Мироняк Л.А.^{2,3},
Рогожин В.О.⁴

¹Київський національний університет
ім. Тараса Шевченка,

²Медична клініка «БОРИС»

³ДУ «Інститут ядерної медицини
та променевої діагностики НАМН України»

⁴Національна медична академія післядипломної
освіти ім. П.Л. Шупика

MULTIMODAL MAGNETIC-RESONANCE NEUROIMAGING: EXAMPLES OF APPLICATION IN NEURORADIOLOGY. CLINICAL OVERVIEW

Omelchenko O.^{1,2}, Myroniak L.^{2,3},
Rogozhyn V.⁴

¹Taras Shevchenko national university of Kyiv

²Medical Clinic «BORIS»

³Institute of nuclear medicine and radiology NAMS
of Ukraine

⁴P.L. Shupik Ukrainian National Medical Academy
of Postgraduate Education

РЕЗЮМЕ. Дана практична робота демонструє, що комплексне застосування методів рутинної і функціональної магнітно-резонансної томографії разом із 1H МР-спектроскопією *in vivo* і дифузійно-тензорною трактографією здатне поліпшити якість диференційної МРТ-діагностики та надати нові можливості для подальшого динамічного МРТ-спостереження пацієнтів. У роботі показано особливості метаболічного профілю, структури провідних шляхів, активзації кори головного мозку при нейроонкологічних захворюваннях, лейкоцистозі та ішемічному інсульті.

Ключові слова: нейрорадіологія, мультимодальна МРТ, функціональна МРТ, дифузійно-тензорна трактографія, МР-спектроскопія *in vivo*.

SUMMARY. Proposed practical paper demonstrates that complex application of routine and functional MRI, together with 1H MR spectroscopy *in vivo* and diffusion-tensor tractography could increase the quality of differentiate diagnosis and give new possibilities for further MRI follow-up of the patients. Peculiarities of metabolic profile, structure of neural tracts, and brain cortex activation in neurooncological diseases, leukodystrophy, and ischemic stroke are shown in this paper.

Keywords: neuroradiology, multimodal MRI, functional MRI, diffusion-tensor tractography, MR spectroscopy *in vivo*.

НОВІ КНИГИ



УДК: 616-074-076(07) ББК 53.4я7 P15

Радиоиммунологичний аналіз в клінічній практиці (Д.С. Мечев, О.І. Москалець, О.С. Бондарук, О.В. Шербіна, Н.М. Старчак). – К.: ІВО «Медицина України», 2014. – 102 с. – ISBN 978-966-8796-27-2.

У навчальному посібнику висвітлені питання проведення радиоиммунологічного аналізу, зокрема особливості роботи з діагностичними наборами. Розглянуті аспекти клінічного застосування визначення гормонів, пухлинних маркерів та інших біологічно активних речовин. Навчальний посібник розрахований на лікарів-слухачів циклів підвищення кваліфікації закладів післядипломної освіти, а також на лікарів з радіонуклідної діагностики, лікарів-лаборантів, ендокринологів, онкологів та урологів.

Рекомендовано до видання вченою радою Національної медичної академії післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика (протокол № 10 від 11.12.2013).

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для організаторів та викладачів післядипломної медичної освіти та лікарів-слухачів циклів підвищення кваліфікації закладів (факультетів) післядипломної освіти. Друкується згідно зі свідоцтвом про внесення Національної медичної академії післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції (серія ДК № 3617).

Замовити книгу можна за телефоном: +38 044 503-04-39