

ОЦЕНКА МИЕЛИНИЗАЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Духовская М.А.

Харьковская медицинская академия последипломного образования

РЕЗЮМЕ. В настоящее время все больше возрастает необходимость в неинвазивном бесконтактном получении информации о характере регионарных и очаговых процессов, происходящих в головном мозге ребенка, как на диагностическом этапе, так и в процессе лечения многих заболеваний центральной нервной системы у детей различных возрастных групп. Миелинизация – это процесс увеличения содержания липидов и уменьшения содержания воды в оболочках нервных путей, отражающий степень зрелости церебральных структур. Эффективное обнаружение аномалий миелинизации зависит от метода визуализации и понимания нормального прогрессирования этого процесса в зависимости от возраста. Новые перспективы в оценке миелинизации открывают магнитно-резонансная томография, магнитно-резонансная спектроскопия и функциональная магнитно-резонансная томография. В статье представлены основные МР-паттерны нормальной миелинизации для каждого метода в разные возрастные периоды и существующие способы ее оценки.

Ключевые слова: миелинизация, магнитно-резонансная томография, магнитно-резонансная спектроскопия, функциональная магнитно-резонансная томография.

В настоящее время все больше возрастает необходимость в неинвазивном бесконтактном получении информации о характере регионарных и очаговых процессов, происходящих в головном мозге ребенка, как на диагностическом этапе, так и в процессе лечения многих заболеваний центральной нервной системы у детей различных возрастных групп. В этом отношении новые перспективы открывают методы, используемые для получения данных о морфологических, функциональных и биохимических изменениях в головном мозге, зависящих от возраста, – это магнитно-резонансная томография, магнитно-резонансная спектроскопия *in vivo* и функциональная магнитно-резонансная томография [5, 6].

Миелинизация — это процесс увеличения содержания липидов и уменьшение содержания воды в оболочках нервных путей. Процесс миелинизации мозга начинается на пятом месяце внутриутробного развития и продолжается активно до 2 лет [11, 42].

МРТ произвела революцию в способности оценивать степень миелинизации у детей младшего возраста. До появления томографических изображений уровень развития головного мозга в естественных условиях не мог быть однозначно установлен, оценку можно было произвести только через анамнез, неврологический статус либо гистологически [2, 7].

К началу 1980-х годов компьютерная томография позволила произвести оценку миелинизации путем получения изображения плотности вещества мозга. Тем не менее этот способ был неполноценен и до появления МРТ в клинической практике, в конце 1980-х годов, не было установлено, что созревание миелиновых волокон и трактов может быть визуализировано [24, 40].

R.B. Dietrich (1988) описал три стадии процесса миелинизации.

1-я стадия — младенческая — от момента рождения до 6-го месяца жизни, характеризуется более интенсивным сигналом от белого вещества головного мозга по сравнению с серым веществом коры. Это взаимоотношение является обратным изображению мозга у взрослых.

2-я стадия — от 8 до 12-го месяца — является переходной, интенсивность сигнала от белого и серого вещества практически одинакова.

В 3-й — взрослой стадии — выделяют раннюю взрослую. Она длится от 10 до 31-го месяца жизни, и в этот период миелинизация представляется в основном завершенной, за исключением области семиовальных центров [15, 32].

Оценка миелина с тех пор превратилась в рутинный аспект нейровизуализации, особенно в детском возрасте.

Используя комбинацию T1- и T2-взвешенных МРТ-изображений, стало возможным быстро и надежно определить, нормально или с задержкой развивается головной мозг. На МР-томограммах головного мозга сигнал от миелинизовавшегося белого вещества в связи с сокращением релаксационных времен четко отличается от участков с незавершившейся миелинизацией [12, 23]. Эта возможность значительно расширила способность обнаруживать лейкоэнцефалопатии и другие нарушения миелинизации в более молодом возрасте [12, 29].

Тем не менее эффективное обнаружение аномалий миелинизации зависит не только от метода визуализации, но и от понимания нормального прогрессирования этого процесса в зависимости от возраста [11, 30]. Поскольку белое вещество у новорожденного еще не созревшее, отношение интенсивности сигнала белого и серого вещества у него обратное взрослому: на T1-взвешенных изображениях (ВИ) головного мозга белое вещество темнее серого, на T2 ВИ — ярче. Созревание белого вещества, следовательно, выглядит как увеличение интенсивности сигнала от белого вещества на T1 ВИ и уменьшение — на T2 ВИ. До 6-месячного возраста T1 ВИ более чувствительны к процессу миелинизации [11, 13].

На T1-взвешенных МР-томограммах головного мозга при рождении сигнал как у взрослого производят задние участки продолговатого и среднего мозга, ножки мозжечка, переднебоковые участки зрительного бугра, задние ножки внутренней капсулы, зрительный нерв, его перекрест и тракт. К 3 мес. жизни высокий сигнал приобретает зрительная лучистость и мозжечок, к 4-6 месяцам — мозолистое тело, 7-11 мес. — белое вещество кверху от полуовального центра, от 8 до 12 мес. — заканчивается созревание подкорковых участков белого вещества и в 12 мес. — перивентрикулярного белого вещества, миелинизация лобных долей полностью завершается к 11-14 мес., височных — 14-18 мес. [24, 30].

Два основных вида последовательностей дополняют друг друга в том, что T1 ВИ предоставляют информацию о ранних стадиях миелинизации, в то время как T2 ВИ дают представление о более поздних стадиях созревания миеллина. Несмотря на это, T2 FLAIR-изображения являются одними из наиболее часто используемых импульсных последовательностей в современной МРТ головного мозга, при том что контрастное белое вещество на этих

изображениях традиционно считается неподходящим для оценки миеллина. Тем не менее T2-взвешенные FLAIR-изображения демонстрируют изменения сигнала, связанные с завершением миелинизации после того, как миелин уже достиг своих параметров как у взрослого на T1 и T2 ВИ [9, 33, 37]. Следовательно, эта импульсная последовательность может быть использована при оценке заключительных этапов миелинизации в различных областях головного мозга.

На T2-взвешенных МР-томограммах головного мозга мозжечок становится целиком гипоинтенсивным только к 18 месяцам жизни. Между 6 и 8-м месяцами созревает мозолистое тело, к 11 месяцам — передняя ножка внутренней капсулы, 14 месяцам — белое вещество в глубоких отделах лобной доли, между 18 и 24-м месяцами заканчивается созревание подкорковых участков белого вещества [23, 24].

Участки белого вещества головного мозга с незавершенным процессом миелинизации иногда встречаются у взрослых в области передних рогов и реже — задних рогов боковых желудочков. Они визуализируют медленную миелинизацию и не относятся к патологическим состояниям. На T2-взвешенных МР-томограммах данные зоны выглядят как симметричные гиперинтенсивные «облачка», отделенные от рогов тонкой прослойкой нормального белого вещества [11, 25, 39].

Наконец, следует отметить, что правильный выбор томографических плоскостей может улучшить оценку возрастных изменений миелинизации. У новорожденных волокна с завершенной миелинизацией в основном сосредоточены в стволе головного мозга, поэтому сагиттальная плоскость является особенно полезной для их оценки. В ходе промежуточных стадий миелинизации аксиальная плоскость является предпочтительной из-за ее способности демонстрировать основные проводящие пути головного мозга, такие как кортикоспинальные тракты. В терминальной стадии миелинизации корональные изображения позволяют визуализировать подкорковые U-образные волокна в лобных долях [16, 24].

Миелинизация головного мозга тесно связана с педиатрической неврологической функциональной зрелостью, устанавливаемой с помощью психомоторного тестирования. Кроме того, исследования, проведенные по данным аутопсии, подтвердили у детей раннего возраста несколько общих правил миелинизации [11]:

1. Проксимальные части нервных путей миелинизируются раньше, чем их дистальные компоненты.
2. Сначала миелинизируются сенсорные зоны, а затем моторные.
3. Проекционные пути миелинизируются раньше ассоциативных.
4. Центральные участки конечного мозга миелинизируются раньше полюсов гемисфер [25].
5. Миелинизация затем одновременно проходит по периферии к различным полюсам мозга, достигая их в следующем порядке: затылочный, лобный, височный полюс [24].

Эти нейрогистологические образцы были преобразованы различными авторами в упрощенные анатомические аксиомы миелинизации: процесс миелинизации идет от центра к периферии, снизу вверх и сзади вперед.

Такие общие правила полезны для практического обзора педиатрических МР-томограмм, но следует понимать, что они не являются неприкосновенными. Существуют исключения в пределах нормального процесса развития, например, тот факт, что лобные полюса миелинизируются раньше височных, нарушает заднепереднее правило [24, 36].

Относительно недавно в арсенале диагностов появился новый метод для оценки миелинизации, которым является диффузионно-тензорная томография (ДТТ) или диффузионно-взвешенная МРТ. Эта методика позволяет визуализировать ориентацию и целостность проводящих путей головного мозга *in vivo* [31, 35].

Она основана на измерении диффузии воды в каждом объемном элементе (вокселе) изображения. На его основании формируется диффузионная матрица, из которой можно получить 3 числовых значения и 3 вектора, описывающих силу и направление диффузии воды в выбранной точке. Вода диффундирует быстрее вдоль волокон проводящих путей белого вещества, поскольку мембраны аксонов выступают препятствием для ее диффузии в других направлениях [21, 22].

Большинство работ, исследующих микроструктуру белого вещества головного мозга при помощи ДТТ, основано на построении двумерных серошальных карт с использованием показателей величины диффузии в каждом вокселе [3]. Траектории изображаются графически в виде пучка кривых. Большинство работ, исследующих микроструктуру белого вещества головного мозга при помощи ДТТ, основано на построении двумерных серошальных карт с использованием показателей величины диффузии в каждом вокселе [10, 19].

Трактография — дополнение к стандартным методам диффузионно-взвешенной МРТ, позволяющее получить более детальную информацию об ориентации и угле наклона проводящих путей белого вещества при прохождении через весь головной мозг [21, 31, 35].

Для установления степени миелинизации при помощи ДТТ проводится анализ состояния белого вещества головного мозга с измерением коэффициента фракционной анизотропии (ФА) в разных зонах интереса: заднем бедре внутренней капсулы, прецентральной извилине, таламусе, мозолистом теле, ретро-ленткулярной части и в задней таламической лучистости, и сравнивается с нормальными для этого возраста показателями [22, 35].

В отличие от T1 и T2 ВИ, большинство из основных трактов белого вещества в мозге видны уже при рождении на ФА-картах. В то время как центральные части этих трактов демонстрируют повышенную анизотропию, периферические участки имеют относительно низкую ФА, которую трудно отличить от серого вещества [10, 19].

Структуры, которые хорошо видны в первые недели после рождения, включают верхние, средние и нижние мозжечковые ножки. В стволе головного мозга видны дорсальные тракты, включающие в себя медиальный продольный пучок, медиальную петлю, а также ретикулярную формацию. Видимые компоненты моторной системы включают кортико-спинальные тракты, ножки, внутреннюю капсулу и лучистый венец [20, 21].

К четвертому месяцу жизни периферические участки ранее описанных трактов проявляют увеличение анизотропии. Увеличение ФА также видно в подкорковых U-образных волокнах [18, 19].

За первый год происходит постепенное, прогрессивное увеличение ФА, а также нарастание толщины трактов по всему мозгу. Тем не менее в отличие от T1 и T2 ВИ, которые имеют относительно зрелый вид в 2 года, цветные ФА-карты не достигают зрелого вида до 4 лет, а далее продолжается диффузное увеличение анизотропии белого вещества в течение всего первого десятилетия жизни [34].

К другим передовым методам оценки созревания миелина относится МР-спектроскопия *in vivo* (МРС). Уникальность методики МРС заключается в возможности прижизненного неинвазивного определения биохимического состава исследуемого участка головного мозга. В настоящее время наиболее широкое распространение получила водородная

(протонная) МР-спектроскопия (1H-MPC). 1H-MPC основана на явлении «химического сдвига» — изменении резонансных частот ядер водорода — протонов, входящих в состав различных химических соединений, относительно резонансной частоты протонов в составе молекулы воды. Благодаря этому MPC позволяет получать количественную информацию о мозговом метаболизме и судить о характере нейрохимических процессов в той или иной области головного мозга. MPC является уникальной среди диагностических методов визуализации, поскольку сигналы от различных метаболитов измеряются в пределах одного периода исследования [8, 38].

В клинических приложениях *in vivo* MPC анализируется содержание в ткани головного мозга следующих основных метаболитов: N-ацетил-L-аспартата (NAA), холинсодержащих соединений (Cho), креатина и фосфокреатина (Cr), а также миоинозитола (mIns) [8]. NAA — аминокислоту, обнаруживаемую в высокой концентрации в спинном мозге (концентрация производных NAA занимает второе место после глутамата), — называют нейрональным маркером [18]. NAA синтезируется в митохондриях нейронов серого вещества головного мозга (СВГМ) из L-аспартата и ацетил-кофермента-A (CoA), высвобождается из нейронов в цереброспинальную жидкость и затем транспортируется в олигодендроциты [8, 43]. Роль NAA в головном мозге для его нормального развития и функционирования белого вещества головного мозга (БВГМ) изучена [17], и доказано отсутствие прямо пропорциональной зависимости между содержанием NAA и плотностью нейронов. Обнаружение NAA в олигодендроцитах позволяет предположить, что основной вклад в содержание NAA дает миелин [8, 38].

Наблюдаемый в спектрах 1H *in vivo* сигнал Cr характеризует суммарное содержание Cr и фосфокреатина во всех типах нейрональных клеток. Концентрация Cr с возрастом медленно растёт [17], однако, за исключением внутримозговых опухолей и участков ишемии, содержание Cr в ткани головного мозга достаточно стабильно, что позволяет использовать этот сигнал в качестве внутреннего стандарта для расчета концентрации других метаболитов [8].

Существует способ количественной оценки степени зрелости церебральных структур новорожденных — на основе MPC, позволяющий определить активность метаболизма в церебральных структурах (белого и серого веществ головного мозга, таламусах) в зависи-

мости от гестационного возраста и патологии обследуемого. Построение графика концентрации экстрацеллюлярных клеточных метаболитов по результатам определения выраженности сигналов, показанных в спектре ступенчатой интегральной кривой, отражает суть предложенного способа [1, 42]. Количественный подход к анализу экспериментальных данных на базе гипотезы о взаимосвязи спектральных конфигураций с метаболическим состоянием индивидуального мозга был предложен Рожковой З.З. (2005) на основе визуализации состояния головного мозга с помощью карт распределения спектральных конфигураций и конфигураций времен релаксации основных церебральных метаболитов [6].

Количественная оценка зрелости церебральных структур с определением метаболизма церебрального лактата новорожденных с помощью магнитно-резонансной спектроскопии была предложена J. Cetin с соавт. (2011) [28].

Во время созревания головного мозга пики метаболитов зависят от возраста ребенка и конкретной области. В случаях с очаговым патологическим поражением всегда производят сравнение с контрлатеральной стороной, так как различные пики метаболитов должны быть сопоставлены со значениями в нормальном мозговом веществе [24].

Созревание мозга характеризуется увеличением N-ацетиласпартата (NAA) и креатина и сопровождающимся снижением холина, мио-инозитола и липидов. Несмотря на это, было выявлено повышение концентрации (в спектроскопии измеряют концентрацию метаболитов или соотношение пиков метаболитов) лактата, и его нахождение считается нормальным у недоношенных детей. Инозитол является молекулой-предшественником для синтеза липидов инозитола [1, 38]. Пик инозитола преобладает в период от 22 до 28 недель после рождения и, вероятно, отражает высокую плотность глиальных клеток, которые размножаются и дифференцируются. Пик холина включает в себя свободный холин, глицерофосфорилхолин и фосфорилхолин. Он представляет собой высокий уровень субстрата, необходимого для формирования мембран клеток. NAA рассматривается как нейронный маркер клеток-предшественников астроцитов, незрелых олигодендроцитов и зрелых олигодендроцитов. Поэтому NAA также отражает пролиферацию олигодендроцитов и наличие дифференцировки. Креатин отражает энергетический метаболизм, и некоторыми

авторами было выявлено его увеличение постнатально, а также непосредственно перед рождением [14, 41].

Региональные различия между серым и белым веществом происходят во всех возрастных группах, а также в их различных областях. У новорожденных самые высокие интенсивности пиков холина, креатина и NAA происходят в таламусе, в базальных ганглиях, а затем в других регионах. Это, вероятно, отражает высокую плотность клеток в этих областях и более зрелый статус по сравнению с белым веществом. Концентрация креатина в сером веществе чаще выше, чем в белом. Холин в сером веществе несколько ниже, чем в белом веществе. Причина не ясна, но можно сказать, что серое вещество содержит меньше мембран миелина [24].

Структуры задней черепной ямки имеют своеобразный метаболический паттерн. Развивающийся мозжечок показывает быстрое увеличение NAA и креатина с младенчества и до детского возраста. Он имеет самую высокую концентрацию креатина, что, возможно, связано с высокой активностью креатинкиназы. Тем не менее более вероятным объяснением является высокая активность гуанидин-ацетата и N-метилтрансферазы, которые позволяют синтезировать креатин. Мозжечок также характеризуется высоким содержанием холина и инозитола по сравнению с полушариями мозга [1, 8, 26].

Глицин является ингибитором аминоксидазы, которая преобладает в спинном мозге и стволе головного мозга. Региональные различия наблюдаются также в задней черепной ямке. Низкие концентрации метаболитов — в черве мозжечка, при высоких значениях — в варолиевом мосту.

В целом концентрация метаболитов зависит от возраста и отображает их региональные вариации. Механизмы, ответственные за метаболические изменения, однако, еще не до конца изучены [4, 25, 27].

Особенным аспектом в оценке степени миелинизации является доношенность. Часто сканирование мозга проводится у детей, которые имеют историю преждевременных родов, и возникает вопрос о том, должна ли оценка миелинизации основываться на возрасте ребенка или необходима коррекция с учетом недоношенности. Некоторые авторы выступают за использование скорректированного возраста, другие утверждают, что быстрый рост мозга в течение первых 2 послеродовых месяцев, за счет эндогенной секреции стероидов, устраняет необхо-

димось такой корректировки [4, 27].

Существуют такие способы оценки степени миелинизации для недоношенных новорожденных:

- Способ семибалльной оценки зрелости церебральных структур по результатам МРТ головного мозга, который включает определение состояния миелинизации (изменение интенсивности сигналов на T1 и T2-взвешенных изображениях), степени редукции герминального матрикса, миграцию нейронов (интенсивность сигналов T1 и T2-взвешенных сигналов), выраженность корковой дифференцировки, предложенный Anne-Marie Childs и соавт. [16].
- Количественный способ оценки зрелости церебральных структур путем сравнения объема различных отделов головного мозга недоношенных детей по результатам МРТ головного мозга, выполненный в раннем неонатальном возрасте и в возрасте, скорректированном с возрастом доношенного новорожденного [43]. А также определение зрелости церебральных структур у недоношенных новорожденных, включающее выполнение магнитно-резонансной томографии головного мозга, получение и анализ T1- и T2-взвешенных изображений и оценку миелинизации церебральных структур мозга. Возраст недоношенного ребенка корректируют с постконцептуальным возрастом доношенного новорожденного и при выявлении первичной миелинизации: червя мозжечка, ножек мозжечка, ножек мозга, ствола мозга, вестибулярных ядер, ядра зрительного бугра, диагностируют грубую задержку церебральной зрелости, при выявлении первичной миелинизации и миелинизации в области лучистого венца — умеренную задержку, а при выявлении миелинизации также и в области задней ножки внутренней капсулы — нормальную церебральную зрелость. Повторное исследование проводят в возрасте 6 месяцев и при выявлении дополнительной миелинизации в области передней ножки внутренней капсулы диагностируют должный уровень развития зрелости церебральных структур [12].

ВЫВОДЫ

В младенческом возрасте миелинизация мозга является ключевым компонентом неврологического развития, которая коррелирует с увеличением сенсорных, моторных и когнитивных способностей. Следовательно,

направленная оценка миелинизации должна проводиться при каждой педиатрической МРТ головного мозга. Существует необходимость тщательного анализа супратенториального и интратенториального белого вещества для сравнения с нормальными показателями в соответствующем возрасте. В настоящее время T1- и T2-взвешенные изображения по-прежнему обеспечивают наиболее важной информацией о церебральной миелинизации.

T1-взвешенные изображения являются наиболее полезными в течение первого года, в дальнейшем T2-взвешенные изображения дают больше информации для контроля миелинизации.

С увеличением количества знаний о более поздних и глубоких процессах миелинизации, новые МРТ-методики (диффузионно-тензорная томография и магнитно-резонансная спектроскопия) приобретают все большее клиническое значение для оценки процесса миелинизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарайбех З.М. Метод и система для ЯМР-спектроскопии тканей головного мозга и вычисления концентрации метаболитов; дис. канд. тех. наук; спец. 05.11.17/ З.М. Гарайбех. — СПб, 2003. — 124 с.
2. Магнитный резонанс в медицине. Основной учебник Европейского Форума по магнитному резонансу / Под ред. П.А. Ринка. Oxford Blackwell Scientific Publication. — London; Edinburg; Boston; Melbourne; Paris; Berlin; Vienna. — 228 с.
3. Мамедьяров А.М. Возможности оценки моторных и сенсорных проводящих путей головного мозга с помощью диффузионно-тензорной трактографии у детей с детским церебральным параличом / А.М. Мамедьяров, Л.С. Намазова-Баранова, Ю.В. Ермолина // Вестник РАМН. — 2014. — № 9-10. — С. 70-76.
4. Окользин А.В. Магнитно-резонансная спектроскопия по водороду в характеристике опухолей головного мозга: дис. канд. мед. наук: спец. 14.00.19 / А.В. Окользин. — СПб, 1997. — 206 с.
5. Рожкова З.З. 1 Н ЯМР in vivo для восстановления зв'язку між локальним станом головного мозку людини і магніто-резонансними характеристиками церебральних метаболітів: Автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук: 03.00.02 / З.З. Рожкова; Харк. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна. — Х., 2005. — 20 с.
6. Рожкова З.З. Количественные методы исследования головного мозга методом магнитно-резонансной томографии: сб. ст. науково-практичної конференції з міжнародною участю «Пухлини центральної нервової системи у дітей». — Харків, 2015. — 70 с.
7. Рябушкин Д.С. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса: (монография) / Д.С. Рябушкин, Н.А. Сергеев. — М.: Логос, 2013. — С. 264-270.
8. Структурные и метаболические особенности головного мозга при болезни Паркинсона по данным магнито-резонансной томографии и магнито-резонансной спектроскопии in vivo / З.З. Рожкова, Н.В. Карабань, И.Н. Карабань // Міжнародний невро-логічний журнал. — 2011. — № 6 (44).
9. Труфанов Г.Е. Магнитно-резонансная томография. Руководство для врачей / Под ред.: Г.Е. Труфанова, В.А. Фокина. — СПб: Фолиант, 2007. — 688 с.
10. Устюжанина М.К. Трактография головного мозга: метод визуализации проводящих путей на основе диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии / М.К. Устюжанина, В.Е. Синицын // Диагностическая и интервенционная радиология. — 2007. — Т.1, № 3.
11. Шульговский В.В. Основы нейрофизиологии: Учебное пособие. — М.: Аспект Пресс, 2000. — С. 277.
12. Ялфимов А.Н. Критерии церебральной зрелости у недоношенных новорожденных по результатам неинвазивной визуализации / А.Н. Ялфимов, А.В. Мелашенко // Лучевая диагностика и терапия. — 2014. — № 3. — С. 31-36.
13. Allen M.C. Neurodevelopmental outcomes of preterm infants / M.C. Allen // Curr Opin Neurol. — 2008. — № 21. — P.123-128.
14. An Atlas of MRI and Spectroscopy Pediatric Brain and Spine // L.M. Ketonen, A. Hiwatashi, R. Sidhu, P.-L. Westesson // New York: Springer — Verlag, 2005. — P. 258-305.
15. Barkovich A.J. Normal development of the neonatal and infant brain, skull, and spine / A.J. Barkovich, C. Raybaud, eds. // Pediatric Neuroimaging, 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health / Lippincott Williams & Wilkins. — 2011. — P. 20-80.
16. Cerebral Maturation in Premature Infants: Quantitative Assessment Using MR Imaging / Anne-Marie Childs, Luca A. Remenghi, Luc Comette, Steven F. Tanner et al. // Am. J. Neuroradiol. — 2001. — № 22. — P. 1577-1582.
17. Charlton R.A., Barrick T.R., McIntyre D.J. et al. White matter denage on diffusion tensor imaging correlates with age-related cognitive decline // Neurology. — 2006. — 66. — P. 217-222.
18. Cognitive aging, executive function, and fractional anisotropy: a diffusion tensor MRI study / S.M. Grieve, L.M. Williams, R.H. Paul et al. // American Journal of Neuroradiology. — 2007. — 28. — P. 226-235.
19. Diffusion tensor imaging and axonal tracking in the human brainstem / B. Stieltjes, W.E. Kaufmann, E.C. van Zijl et al. // Neuroimage. — 2001. — 14. — P. 723-735.
20. Diffusion tensor imaging in multiple sclerosis: a tool for monitoring changes in normal-appearing white matter / E. Cassol, J.P. Ranjeva, D. Ibarrola et al. // Mult. Scler. — 2004. — Vol.10 (2). — P.188-196.
21. Diffusion-tensor MR imaging and fiber tractography: a new method of describing aberrant fiber connections in developmental CNS anomalies / S.K. Lee, D.I. Kim, J. Kim et al. // RadioGraphics. — 2005. — 5. — P. 53-68.
22. Diffusion-weighted MR imaging of anisotropic water diffusion in cat central nervous system / M.E. Moseley, Y. Cohen, J. Kucharczyk et al. // Radiology. — 1990. — 176. — P. 439-445.
23. Early Assessment of Brain Maturation by MR Imaging Segmentation in Neonates and Premature Infants / A. Zacharia, S. Zimine, K.O. Lovblad, S. Warfield et al. // Am. J. Neuroradiol. — 2006. — № 27. — P. 972-977.
24. Gaha M. Sousse / TN: Normal myelination: a prac-

- tical pictorial review / M. Gaha, N. Mama, N. Arifa, H. Jemni, K. Tlili Graies; <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2016/C-1486> ECR 2016, Poster No.. — C. 1486.
25. Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience / Charles Alexander Nelson, Monica Luciana // Collins MIT Press, 2001. — 685 p.
26. Klunk W.E. Alterations of cerebral metabolism in probable Alzheimer's disease: a preliminary study / W.E. Klunk, J.W. Pettegrew, K. Panchalingam // Neurobiol. Aging. — 1996. — Vol. 15. — P. 117-132.
27. Kreis R. 1 H-MR spectroscopy: methods and applications / R. Kreis // Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine. — 1999. — Vol. 8, №1. — P. 4-5.
28. Lactate detection in the brain of growth restricted fetuses with magnetic resonance spectroscopy / J. Cetin, B. Barberis, V. Brusati, E. Brighina et al. // Am. J. of Obstetric and Gynecology. — 2011. — 350.e1 — 350. e7.
29. Magnetic resonance of myelination and myelin disorders / M.S. Knaap, J. Valk, F. Barkhof // — Springer Verlag. — 2005. — P. 33-74.
30. Mapping infant brain myelination with magnetic resonance imaging / S.C. Deoni, E. Mercure, A. Blasi et al. // J. Neurosci. — 2011. — № 31 (2). — P. 784-791.
31. MR diffusion tensor spectroscopy and imaging / P.J. Basser, J. Mattiello, D. Le Bihan // Biophys. — 1994. — 66. — P. 259-267.
32. MR Evaluation of Early Myelination Patterns in Normal and Developmentally Delayed Infants // AJNR. — 1988. — 9. — P. 69-76.
33. MR Imaging in White Matter Diseases of Brain and Spinal Cord / M. Filippi, N. Stefano, V. Donsset, J.C. McGowan // Ed. Springer. — 2005.
34. MR imaging of anisotropically restricted diffusion of water in the nervous-system: Technical, anatomic, and pathological considerations. / J.V. Hajnal, M. Doran, A.S. Hall, A.G. Collins, A. Oatridge, J.M. Pennock et al // J. Comput. Assist. Tomogr. / 1991. — №15. — P. 1-18.
35. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders/D. Le Bihan, E. Breton, D. Lallemand et al // Radiology. — 1986. — 161. — P.401-407.
36. Normal Maturation of the Neonatal and Infant Brain: MR Imaging at 1.5T / James Barkovich MD, Bent O. Kjos MD, Donald E. Jackson Jr. MD, David Norman MD // Radiology. — 1988. — № 166. — P. 173-180.
37. Pediatric Brain and Spine: An atlas of MRI and Spectroscopy / L.M. Ed. Springer, A. Ketonen, R. Hiwataishi, P. Sidhu, L. Wertteson // Springer Verlag. — 2005. — P. 125-167.
38. Proton magnetic resonance spectroscopy in dementia with Lewy bodies / J.A. Molina, J.M. Garcia-Segura, J. Benito-Leon et al. // Eur. Neurol. — 2002. — Vol. 48, № 3. — P. 158-163.
39. Semiquantitative assessment of myelination using magnetic resonance imaging in normal fetal brains / S. Abe, K. Takagi, T. Yamamoto, Y. Okuhata, T. Kato // Prenat. Diagn. — 2004. — № 24 (5). — P. 352-357.
40. Techniques and methods in pediatric neuroimaging / In: C.P. Hess, A.J. Barkovich, C. Raybaud eds. // Pediatric Neuroimaging. 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health / Lippincott Williams & Wilkins. — 2011. — P. 1-19.
41. Terminal zones of myelination: MR evaluation of children aged 20-40 months //C. Parazzini, C. Baldoli, G. Scotti, F. Trulzi // Am. J. Neuroradiol. — 2002. — № 23 (10). — P. 1669-1673.
42. Vigneron D.B. MRS of Perinatal Asphyxia // Magn. Reson Med. — 2002. — № 48. — P. 949-958.
43. Viola R.E. The impact of structural biology on neurobiology // PNAS. — 2007. — V. 104, No. 2. — P.

ОЦІНКА МІЕЛІНІЗАЦІЇ ГОЛОВНОГО МОЗКУ В ДІТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Духовська М.А.

Харківська медична академія післядипломної освіти

РЕЗЮМЕ. На сьогодні все більше зростає необхідність у неінвазивному безконтактному отриманні інформації про характер регіонарних і вогнищевих процесів, що відбуваються в головному мозку дитини, як на діагностичному етапі, так і в процесі лікування багатьох захворювань центральної нервової системи в дітей різних вікових груп. Мієлінізація – це процес збільшення вмісту ліпідів і зменшення вмісту води в оболонках нервових шляхів, що відображає ступінь зрілості церебральних структур. Ефективне виявлення аномалій мієлінізації залежить від методу візуалізації і розуміння нормального прогресування цього процесу залежно від віку. Нові перспективи в оцінці мієлінізації відкривають магнітно-резонансна томографія, магнітно-резонансна спектроскопія і функціональна магнітно-резонансна томографія. У статті представлені основні МР-патерни нормальної мієлінізації для кожного методу в різні вікові періоди та існуючі способи її оцінки.

Ключові слова: мієлінізація, магнітно-резонансна томографія, магнітно-резонансна спектроскопія, функціональна магнітно-резонансна томографія.

EVALUATION OF BRAIN MYELINATION IN CHILDREN BY MEANS OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING (LITERATURE REVIEW)

Dukhovskaya M.A.

Kharkiv Medical Academy of Post-graduate
Education

SUMMARY. Now days, more and more increasing need for non-invasive non-contact information of regional and focal processes occurring in the brain of the child as the diagnostic stage and in the treatment of many diseases of the central nervous system in children depending on the age.

Myelination – a process of increasing the lipid content and reduce the water content in the membranes of nerve pathways, which reflects the degree of maturity of cerebral structures. Efficient detection myelination anomalies depend on the method of visualization and understanding of the normal progression of the process according to the age. New perspectives in the evaluation of myelination open magnetic resonance imaging, magnetic resonance spectroscopy, and functional magnetic resonance imaging. The article presents the main MR- patterns of normal myelination at different ages and existing methods of its evaluation.

Keywords: myelination, magnetic resonance imaging, magnetic resonance spectroscopy, functional magnetic resonance imaging.