

РОЛЬ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЁГКИХ У ДЕТЕЙ



Нарзикулов Шохжахон Фарходович, Хамидова Фариди Муиновна
Самаркандский государственный медицинский университет, Республика Узбекистан, г. Самарканд

БОЛАЛАРДА ЎПКА КАСАЛЛИКЛАРИНИ АНИҚЛАШДА МАГНИТ-РЕЗОНАНС ТОМОГРАФИЯНИНГ ЎРНИ

Нарзикулов Шохжахон Фарходович, Хамидова Фариди Муиновна
Самарканд Давлат тиббиёт университети, Ўзбекистон Республикаси, Самарканд ш.

THE ROLE OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN THE DIAGNOSIS OF LUNG DISEASES IN CHILDREN

Narzikulov Shokhjahon Farkhodovich, Khamidova Farida Muinovna
Samarkand State Medical University, Republic of Uzbekistan, Samarkand

e-mail: info@sammu.uz

Резюме. Ўпканинг магнит-резонанс томографияси болаларда кўкрак қафаси аъзолари касалликларида энг кам қўлланиладиган тасвирлаш усулларида бири бўлиб қолмоқда. Бунинг асосий сабаблари ўпка паренхимаси тасвирларининг нисбатан паст сифати ва ҳаво сақловчи аъзоларни визуализатсия қилиши билан боғлиқ сезиларли техник қийинчиликлар мавжудлигидир. Шу билан бирга, сўнги ўн йилликда МР-технологияларнинг ривожланиши, шунингдек, сканерлаш протоколларининг оптималлаштирилиши МРТнинг ролини қайта кўриб чиқишга ва унинг педиатрия амалиётида клиник қўлланилишини кенгайтиришга олиб келди. Замонавий МРТ усуллари МРТни болаларда кўкрак қафаси аъзоларининг бир қатор касалликларида компьютер томографиясининг ҳақиқий муқобили сифатида кўриб чиқиш имконини беради, бу эса ионлаштирувчи нурланишдан фойдаланмасдан таққосланадиган диагностик маълумотни таъминлайди. Бу, айниқса, педиатрик популяцияда муҳимдир, бу ерда такрорий нурланиш тадқиқотлари потенциал узоқ радиация хавфи билан боғлиқ. Ушбу шарҳ мақоласида болаларда кўкрак қафаси аъзоларининг МРТ текширувига замонавий кўрсатмалар, тадқиқот протоколларининг ўзига хос хусусиятлари, усулнинг афзалликлари ва чекловлари кўриб чиқилади. Ўпканинг юқумли касалликларида, медиастинал патологияда, тузма аномалияларида, йирик нафас йўллари касалликларида, шунингдек, иммунитетни заиф беморларда ва муковисцидоз билан оғриган болаларда МРТдан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилган. Ўпканинг функционал МР-томографиясини ривожлантиришининг янги кетма-кетликлари ва истиқболли йўналишлари муҳокама қилинмоқда. Мақолада МРТнинг болаларда бронх-ўпка тизимини комплекс анатомик ва функционал баҳолашнинг хавфсиз ва маълумот берувчи усули сифатидаги салоҳияти таъкидланган ва у болалар торакал радиологиясида янги уфқларни очадиган "камроқ чўзилган йўл" сифатида кўриб чиқилган.

Калим сўзлар: магнит-резонанс томография, болаларда ўпка касалликлари, болаларда радиология, кўкрак қафаси аъзолари МРТ, бронх – ўпка патологиясининг диагностикаси.

Abstract. Magnetic resonance imaging (MRI) of the lungs remains one of the least utilized imaging modalities in the evaluation of thoracic diseases in children. The main reasons for this include the relatively low image quality of lung parenchyma and significant technical challenges associated with imaging air-containing organs. However, advances in MRI technology over the past decade, along with optimization of scanning protocols, have led to a reassessment of the role of MRI and an expansion of its clinical application in pediatric practice. Modern MRI techniques allow lung MRI to be considered a realistic alternative to computed tomography for a number of pediatric thoracic conditions, providing comparable diagnostic information without the use of ionizing radiation. This is particularly important in the pediatric population, where repeated radiological examinations are associated with potential long-term radiation risks. This review article discusses current indications for thoracic MRI in children, specific features of imaging protocols, as well as the advantages and limitations of the method. Special attention is paid to the use of MRI in pulmonary infections, mediastinal pathology, congenital anomalies, diseases of the large airways, as well as in immunocompromised patients and children with cystic fibrosis. Emerging MRI sequences and future directions in the development of functional lung MRI are also reviewed. The article highlights the potential of MRI as a safe and informative modality for comprehensive anatomical

Введение. Рентгенография органов грудной клетки остаётся наиболее распространённым и широко используемым методом лучевой диагностики заболеваний органов дыхания у детей во всём мире. В большинстве клинических ситуаций она считается достаточной и оправданной для первичной оценки состояния бронхолёгочной системы. Однако при необходимости получения более детальной анатомической информации, а так-

же при ряде специфических клинических показаний, применяется компьютерная томография органов грудной клетки (рис. 1-5) [1].

Компьютерная томография обладает высокой пространственной разрешающей способностью и обеспечивает расширенную диагностическую информацию по сравнению с обзорной рентгенографией.

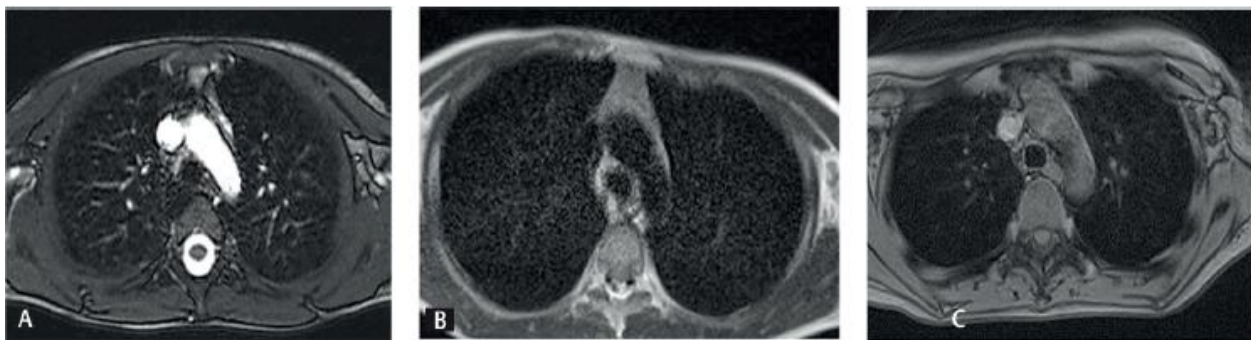


Рис. 1. (а) Нормальные МР-изображения в режимах TRUF1, (б) T2-взвешенные и (с) T1-взвешенные VIBE-изображения на уровне дуги аорты у мальчика 7 лет

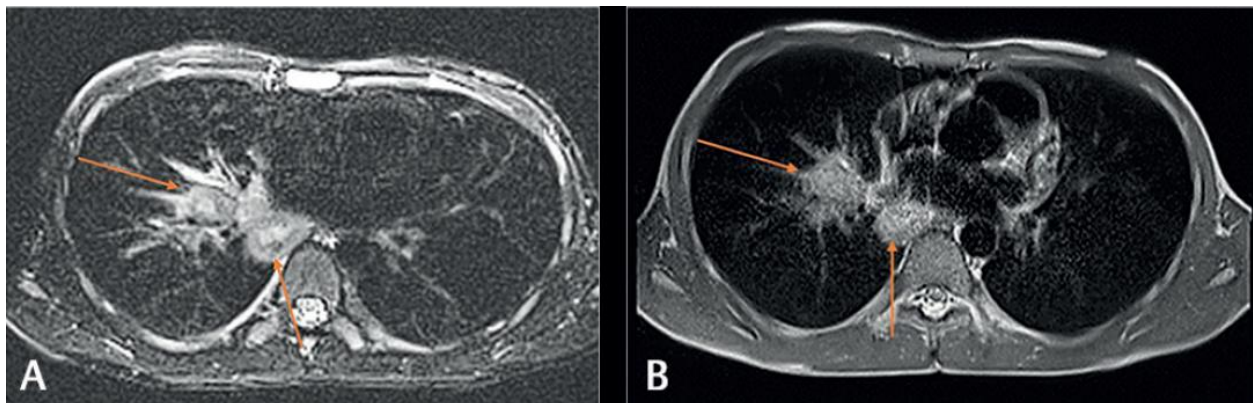


Рис. 2. Некротически изменённые лимфатические узлы (стрелки) на (а) T2-взвешенных изображениях в режиме BLADE и (б) стандартных T2-взвешенных изображениях у мальчика 8 лет с фебрильной нейтропенией

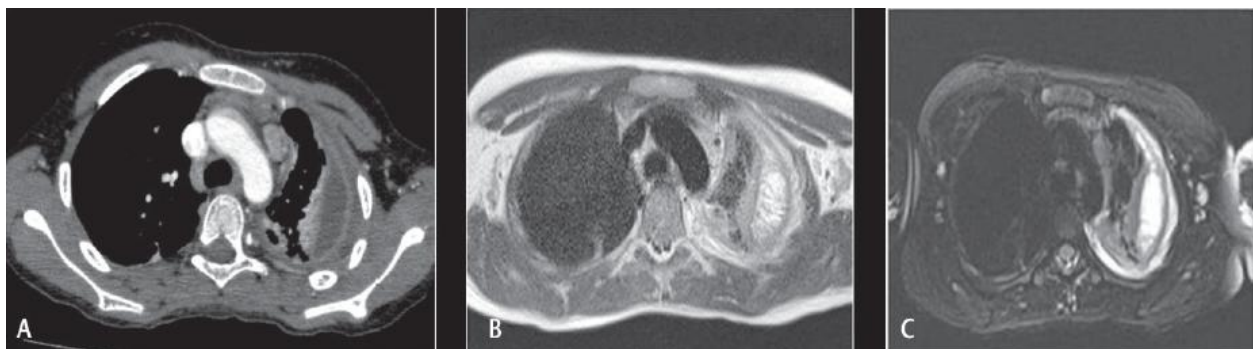


Рис. 3. Левосторонняя эмпиема плевры и субсегментарный коллапс лёгкого на (а) компьютерной томографии, (б) T2-взвешенных МР-изображениях и (с) изображениях в режиме BLADE у девочки 9 лет с лихорадкой и болями в грудной клетке в течение 4 недель

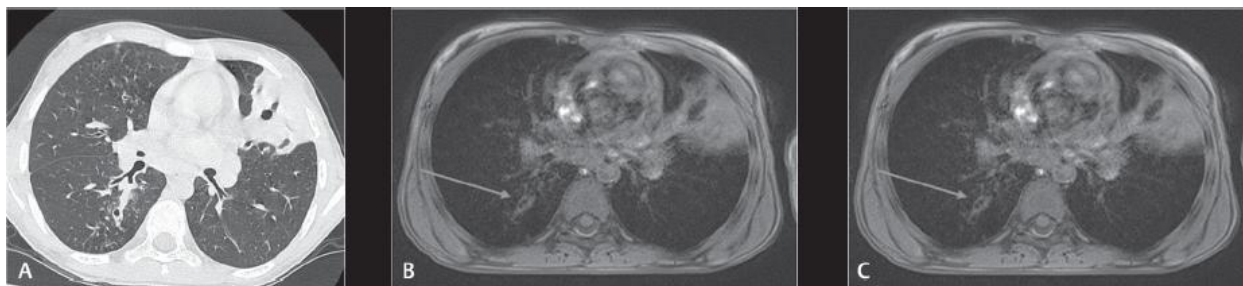


Рис. 4. Консолидация в сегментах язычковой доли с участками распада на (а) компьютерной томографии, (b) T2-взвешенных МР-изображениях и (с) T1-взвешенных изображениях VIBE у мальчика 12 лет с острым миелогенным лейкозом. Также отмечается умеренное утолщение стенок бронхов (стрелки) в правой нижней доле



Рис. 5. Мелкий лёгочный узел в верхнем сегменте язычковой доли на (а) компьютерной томографии, (b) T2-взвешенных МР-изображениях и (с) T1-взвешенных изображениях VIBE у мальчика 12 лет с острым лимфобластным лейкозом и фебрильной нейтропенией

Вместе с тем использование ионизирующего излучения, особенно при повторных исследованиях, связано с потенциальными неблагоприятными биологическими эффектами, что имеет особое значение в педиатрической практике [1]. В связи с этим актуальной задачей современной детской лучевой диагностики является поиск альтернативных методов визуализации, позволяющих снизить или полностью исключить лучевую нагрузку без потери диагностической информативности.

Магнитно-резонансная томография лёгких длительное время оставалась малоиспользуемым методом в повседневной клинической практике, что было обусловлено физическими особенностями лёгочной ткани, низкой протонной плотностью, выраженными артефактами движения и ограниченным качеством изображений [2–4]. Однако значительный прогресс в области МР-технологий за последнее десятилетие существенно изменил подход к визуализации органов грудной клетки и расширил диагностические возможности метода.

Современные МР-последовательности и оптимизированные протоколы исследования позволяют получать диагностически значимую информацию, сопоставимую с данными компьютерной томографии, при ряде заболеваний органов грудной клетки у детей [2–4]. Принципиальным преимуществом магнитно-резонансной томографии является отсутствие ионизирующего излучения, что делает метод безопасным для повторного применения и особенно актуальным в динамиче-

ском наблюдении детей с хроническими заболеваниями лёгких [2].

В настоящее время МРТ органов грудной клетки демонстрирует высокую чувствительность и специфичность, сопоставимую с КТ, при оценке патологий средостения, медиастинальных лимфатических узлов, лёгочных эмболий, узловых образований размером более 4 мм, бронхоэктазов, врождённых аномалий развития лёгких, плевральных выпотов, опухолей грудной стенки и инфекционных поражений [5–9]. В то же время метод остаётся менее информативным по сравнению с компьютерной томографией при диагностике интерстициальных заболеваний лёгких, воздушных ловушек, мелких лёгочных узелков менее 3–4 мм и кальцификатов, что обусловлено более низким сигналом от лёгочной паренхимы и выраженными эффектами магнитной восприимчивости на границе «воздух–ткань» [10,11].

Особую клиническую значимость МРТ лёгких приобретает при обследовании детей с инфекционными заболеваниями органов дыхания, включая туберкулёзные, нетуберкулёзные и паразитарные поражения, особенно у иммунокомпрометированных пациентов и больных муковисцидозом [12–16]. Кроме того, метод демонстрирует высокую диагностическую ценность при оценке состояния крупных дыхательных путей у детей, что расширяет его применение в педиатрической пульмонологии и радиологии [17,18].

Целью данной обзорной статьи является анализ показаний, протоколов, преимуществ и ограничений магнитно-резонансной томографии

органов грудной клетки у детей, а также рассмотрение перспектив развития метода в диагностике бронхолегочных заболеваний детского возраста.

МРТ-протоколы. Магнитно-резонансная томография лёгких у детей может выполняться с использованием как дыхательно-синхронизированных, так и недыхательно-синхронизированных последовательностей, как правило без электрокардиографической синхронизации (табл. 1). Применение дыхательной и кардиосинхронизации позволяет снизить выраженность артефактов движения и улучшить качество изображений, однако приводит к значительному увеличению времени сканирования, что мо-

жет негативно влиять на переносимость исследования ребёнком [2–4].

В педиатрической практике ключевым ограничивающим фактором является длительность исследования. В связи с этим протоколы МРТ лёгких должны быть максимально быстрыми, обеспечивать высокий контраст между структурами и достаточное соотношение сигнал/шум. С целью минимизации дыхательных артефактов большинство последовательностей рекомендуется выполнять в режиме задержки дыхания, предварительно обучив ребёнка совместно с родителями или законными представителями правильной технике дыхания [2–4].

Таблица 1. Основные показания к проведению МРТ органов грудной клетки у детей

Лёгочная паренхима	Средостение	Грудная стенка
Врождённые заболевания лёгких	Лимфатические узлы	Опухоли
Инфекционные заболевания	Образования средостения	Абсцессы / инфекции
Интерстициальные заболевания лёгких	Тромбоз эмболия лёгочной артерии	
Заболевания дыхательных путей		
Опухоли / метастазы		
Сосудистые аномалии		
Плевральные заболевания (изолированные или сочетанные с поражением паренхимы)		

Таблица 2. Основные технические параметры стандартных МР-последовательностей при МРТ лёгких у детей

Параметр	T2 HASTE	T1 VIBE	TRUFI / SSFP
Поле обзора (FoV), мм	275	400	300
Фазовый FoV, %	78,1	75	85,9
Базовое разрешение	320	384	256
Фазовое разрешение, %	80	75	100
Толщина среза, мм	4	4	4
Частичное преобразование Фурье	4/8	7/8	Выкл.
Размер пикселя, мм	0,7 × 0,7	0,7 × 0,7	0,6 × 0,6
Межсрезовый интервал, %	20	20	60
Время повторения (TR), мс	500	4,06	580,23
Время эхо (TE), мс	36	2,07	1,48
Угол наклона (Flip angle), °	146	5	40
Полоса пропускания, Гц/пиксель	781	540	1 028
iPAT (число реф. линий)	2 (1)	2 (24)	2 (26)

Таблица 3. Преимущества и ограничения МРТ лёгких у детей

Преимущества	Ограничения
Отсутствие ионизирующего излучения	Более высокая стоимость исследования
Возможность многократного повторения без радиационного риска	Ограниченная доступность
Получение сосудистой информации без контрастирования	Необходимость седации у детей младшего возраста
Одновременная анатомическая и функциональная оценка	Зависимость качества изображения от комплаентности пациента
Безопасность при динамическом наблюдении	Более низкое пространственное разрешение
	Низкая чувствительность к мелким узелкам (<4 мм), кистам, воздушным ловушкам
	Ограниченные возможности выявления кальцификатов

Минимальная продолжительность задержки дыхания, как правило, составляет 10–15 секунд. У детей, находящихся в тяжёлом состоянии или не способных выполнять команды, проведение МРТ с задержкой дыхания затруднено или невозможно, что является одним из ограничений метода. В подобных случаях могут использоваться дыхательно-триггерные T2-взвешенные последовательности в режиме свободного дыхания, при этом протокол исследования должен адаптироваться индивидуально для каждого пациента [2–4].

У детей младшего возраста, не способных сохранять неподвижность или выполнять задержку дыхания, может потребоваться медикаментозная седация, что также ограничивает широкое применение МРТ лёгких в этой возрастной группе. В связи с этим наибольшая диагностическая эффективность метода достигается у детей старше 5 лет, способных сотрудничать с медицинским персоналом и не нуждающихся в седации [2–4].

Стандартный протокол МРТ лёгких у детей включает несколько базовых последовательностей, обеспечивающих получение как анатомической, так и патологической информации. К числу основных последовательностей относятся T2-взвешенная HASTE (Half-Fourier Acquisition Single-Shot Turbo Spin-Echo), T2-взвешенная BLADE (PROPELLER), T2-взвешенная TRUFI (True Fast Imaging with Steady-State Free Precession) и T1-взвешенная VIBE (Volumetric Interpolated Breath-Hold Examination) (рис. 1) [2–4].

Указанные последовательности позволяют визуализировать патологические изменения лёгочной паренхимы, бронхиального дерева, средостения и плевры. В зависимости от клинической задачи протокол исследования может быть дополнен STIR-последовательностями, диффузионно-взвешенной МР-томографией и контрастным усилением, что повышает диагностическую ценность метода при отдельных нозологиях (табл. 2) [2–4].

Таким образом, оптимизация МРТ-протоколов исследования лёгких у детей требует индивидуального подхода с учётом возраста пациента, клинического состояния и предполагаемой патологии, что позволяет максимально реализовать диагностический потенциал метода при минимальных временных и физиологических затратах [2–4].

Контрастное усиление при МРТ. Применение контрастных веществ при магнитно-резонансной томографии органов грудной клетки у детей не является обязательным во всех клинических ситуациях. В большинстве рутинных исследований МРТ лёгких может выполняться без внутривенного введения контрастного препарата,

при этом сохраняется достаточная диагностическая информативность метода [2–4].

Контрастное усиление рекомендуется использовать выборочно, в зависимости от клинических показаний и предполагаемого характера патологического процесса. В частности, введение контрастных препаратов целесообразно при подозрении на медиастинальные опухолевые образования, воспалительные инфильтраты с формированием абсцессов, а также при необходимости уточнения сосудистой анатомии и характера патологического кровоснабжения [5–9].

Следует отметить, что ряд МР-последовательностей, основанных на принципе устойчивого стационарного состояния свободной прецессии (steady-state free precession, SSFP/TRUFI), обеспечивает выраженный естественный сосудистый контраст без применения гадолинийсодержащих препаратов. Это позволяет визуализировать структуры средостения и крупные сосуды, включая лёгочную артерию, а в отдельных случаях выявлять признаки тромбоэмболии лёгочной артерии без контрастного усиления [5–9].

Дополнительным преимуществом МРТ является возможность получения ангиографической информации без использования контрастных веществ, что имеет особое значение у детей младшего возраста и пациентов с противопоказаниями к введению гадолиния. Это расширяет показания к применению метода в педиатрической практике и повышает его безопасность при динамическом наблюдении (табл. 3) [2–4].

Стандартно сканирование лёгких выполняется в аксиальной плоскости в краниокаудальном направлении. Общая продолжительность МРТ-исследования, включающего несколько последовательностей, варьирует от 2 до 14 минут в зависимости от объёма протокола и клинической задачи. В литературе описаны укороченные протоколы продолжительностью около 2 минут, однако они обеспечивают ограниченный объём диагностической информации и применимы лишь в отдельных клинических ситуациях [3, 7].

Таким образом, использование контрастного усиления при МРТ лёгких у детей должно быть строго обоснованным и индивидуализированным. Рациональный выбор протокола и последовательностей позволяет в ряде случаев отказаться от контрастирования без потери диагностической ценности, что повышает безопасность исследования и снижает медикаментозную нагрузку на пациента [2–4].

Современные достижения и перспективы развития МРТ. Современные достижения в области магнитно-резонансной томографии существенно расширили диагностические возможности визуализации лёгких у детей. Внедрение но-

вых МР-последовательностей, специально адаптированных для исследования тканей с крайне коротким временем релаксации, открыло перспективы получения изображений лёгочной паренхимы с пространственным разрешением, сопоставимым с данными высокоразрешающей компьютерной томографии [19–22].

К числу наиболее перспективных технологий относятся последовательности с ультракоротким временем эхо (ultrashort echo time, UTE) и нулевым временем эхо (zero echo time, ZTE). Применение данных методик позволяет регистрировать МР-сигнал от тканей с очень короткими значениями T2 и T2*, что особенно важно для визуализации лёгочной паренхимы, ранее считавшейся малоприспособной для МР-исследования [19–22]. Использование UTE- и ZTE-последовательностей обеспечивает более чёткую оценку структурных изменений лёгких, включая зоны уплотнения, фиброзные изменения и деформацию бронхиального дерева [19–22].

Другим перспективным направлением является применение диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии. Хотя данный метод пока ограниченно используется в педиатрической практике, исследования у взрослых пациентов продемонстрировали возможность одновременной оценки как структурных, так и функциональных характеристик лёгочной ткани при различных патологических состояниях [23]. В частности, диффузионно-взвешенная МРТ показала высокую чувствительность к воспалительным изменениям лёгких и может применяться для выявления активности патологического процесса [23, 24].

У пациентов с муковисцидозом диффузионно-взвешенная МРТ продемонстрировала способность выявлять и динамически отслеживать воспалительные изменения лёгочной паренхимы в период обострений заболевания, что делает данный метод перспективным инструментом мониторинга течения болезни без лучевой нагрузки [24].

Функциональная оценка лёгочной ткани является ещё одним активно развивающимся направлением МРТ лёгких. Современные исследования показали, что функциональная МРТ позволяет выявлять различия интенсивности сигнала между фазами вдоха и выдоха, что даёт возможность дифференцировать различные типы вентиляционных нарушений при муковисцидозе и других хронических заболеваниях лёгких [25]. Установлено, что выявляемые функциональные нарушения напрямую коррелируют с выраженностью структурных изменений лёгочной паренхимы [25].

Дополнительно применяются динамические МР-исследования вентиляции и перфузии лёгких

с последующим построением перфузионных карт с использованием специализированного программного обеспечения и алгоритмов постобработки. Данные методы позволяют проводить количественную оценку регионарного кровотока и вентиляции, что имеет важное значение для мониторинга состояния пациентов с хроническими бронхолёгочными заболеваниями [26].

Таким образом, внедрение новых МР-последовательностей и развитие функциональных методов визуализации формируют основу для перехода от преимущественно анатомической оценки лёгких к комплексному структурно-функциональному анализу. Это существенно повышает диагностическую ценность магнитно-резонансной томографии и расширяет её применение в педиатрической радиологии [19–26].

Преимущества и ограничения магнитно-резонансной томографии лёгких у детей. Магнитно-резонансная томография органов грудной клетки обладает рядом существенных преимуществ и ограничений, которые определяют возможности и границы её клинического применения в педиатрической практике. В совокупности эти особенности формируют рациональный подход к выбору МРТ как метода лучевой диагностики при бронхолёгочных заболеваниях у детей [15, 26, 27].

К числу основных преимуществ МРТ относится отсутствие ионизирующего излучения, что делает метод безопасным при повторных исследованиях и особенно актуальным для динамического наблюдения детей с хроническими заболеваниями лёгких, такими как муковисцидоз и бронхолёгочная дисплазия [15, 26, 27]. Возможность многократного выполнения исследования без увеличения лучевой нагрузки существенно расширяет диагностические и мониторинговые возможности метода.

Дополнительным преимуществом МРТ является способность одновременно предоставлять анатомическую и функциональную информацию в рамках одного исследования. Современные МР-последовательности позволяют оценивать не только структурные изменения лёгочной паренхимы и бронхиального дерева, но и вентиляционно-перфузионные характеристики, что недоступно при стандартной компьютерной томографии без дополнительных функциональных методик [15, 26].

Важным достоинством МРТ в педиатрической практике является возможность получения сосудистой информации без введения контрастных препаратов. Это особенно значимо у детей младшего возраста и пациентов с противопоказаниями к применению гадолинийсодержащих контрастных веществ, поскольку позволяет визуализировать сосуды средостения и лёгочные артерии

с использованием специализированных МР-последовательностей [15, 27].

В то же время магнитно-резонансная томография имеет ряд существенных ограничений. Одним из них является более высокая стоимость исследования и ограниченная доступность МР-сканеров по сравнению с компьютерной томографией, что может снижать её широкое внедрение в рутинную клиническую практику [15].

Кроме того, проведение МРТ у детей младшего возраста часто требует медикаментозной седации, что увеличивает сложность и потенциальные риски исследования. Качество получаемых изображений в значительной степени зависит от комплаентности ребёнка, а при недостаточном сотрудничестве возрастает количество артефактов движения и снижается диагностическая ценность исследования [15].

С технической точки зрения МРТ лёгких характеризуется более низким пространственным разрешением по сравнению с компьютерной томографией, что ограничивает её чувствительность в выявлении мелких лёгочных узелков диаметром менее 4 мм, воздушных ловушек, периферических бронхоэктазов и кальцификатов [15]. Эти особенности обусловлены физическими свойствами лёгочной ткани и низким уровнем МР-сигнала.

Таким образом, магнитно-резонансная томография лёгких у детей представляет собой перспективный и безопасный метод лучевой диагностики, обладающий значительным потенциалом в оценке как анатомических, так и функциональных изменений бронхолёгочной системы. Вместе с тем метод не может полностью заменить компьютерную томографию и должен рассматриваться как комплементарный инструмент, выбор которого должен основываться на клинической задаче, возрасте пациента и необходимости минимизации лучевой нагрузки [15, 26, 27].

Заключение. Магнитно-резонансная томография лёгких у детей остаётся технически сложным и методологически требовательным методом визуализации, что обусловлено низкой интенсивностью сигнала от лёгочной ткани, сравнительно длительным временем исследования, выраженной чувствительностью к дыхательным и двигательным артефактам, а также вариабельным уровнем сотрудничества со стороны пациентов детского возраста [15]. Эти факторы ограничивают универсальное применение метода в рутинной клинической практике.

Вместе с тем МРТ представляет собой перспективную и безопасную альтернативу компьютерной томографии в ряде клинических ситуаций, поскольку позволяет проводить комплексную анатомическую и функциональную оценку органов грудной клетки без использования ионизирующего излучения [15, 26, 27]. Это особенно важ-

но при обследовании детей, нуждающихся в повторных исследованиях, включая пациентов с муковисцидозом, хроническими инфекционными заболеваниями лёгких и иммунодефицитными состояниями [12–16].

Магнитно-резонансная томография демонстрирует наибольшую диагностическую ценность при оценке инфекционных поражений лёгких у иммунокомпрометированных детей, при исследовании лимфатических узлов, врождённых аномалий развития, патологии крупных дыхательных путей, а также в рамках динамического наблюдения за течением бронхолёгочных заболеваний [5–9, 17, 18]. В то же время компьютерная томография в настоящее время сохраняет статус метода выбора при диагностике интерстициальных заболеваний лёгких, поражений мелких дыхательных путей и выявлении лёгочных микроузлов [10, 11].

Оптимизация протоколов МРТ лёгких у детей, сокращение времени сканирования, индивидуальный подбор последовательностей и рациональное планирование исследования являются ключевыми условиями получения изображений высокого качества и повышения диагностической эффективности метода [2–4]. При соблюдении этих принципов магнитно-резонансная томография может занять более значимое место в алгоритмах лучевой диагностики бронхолёгочных заболеваний у детей.

Таким образом, МРТ лёгких следует рассматривать не как полную замену компьютерной томографии, а как комплементарный метод, обладающий уникальными преимуществами в плане радиационной безопасности и функциональной оценки, потенциал которого будет возрастать по мере дальнейшего развития технологий и стандартизации методик исследования [15, 26, 27].

Литература:

1. Ризаев Ж. А., Абдуллаев А. С., Кубаев А. С. Перспективы лечения невритов в комплексе с этилметилгидроксипиридина сукцинат и комбилипен // Современная медицина: новые подходы и актуальные исследования. – 2022. – С. 20-24.
2. Ризаев Ж. А., Кубаев А. С., Абдукадиров А. А. Состояние риномаксиллярного комплекса и его анатомо-функциональных изменений у взрослых больных с верхней микрогнатией // Журнал теоретической и клинической медицины. – 2020. – №. 3. – С. 162-165.
3. Ризаев Ж. А., Ризаев Э. А., Кубаев А. С. Роль иммунной системы ротовой полости при инфицировании пациентов коронавирусом SARS-COV-2 // Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. – 2020. – №. 3. – С. 67-69.
4. Ризаев Ж. А., Кубаев А. С., Лим Т. В. Влияние хронического гастродуоденита на гигиеническое

состояние полости рта при стоматите и гингивите у больных //Confrencea. – 2025. – Т. 1. – С. 39-40.

5. Ризаев Ж. А., Назарова Н. Ш. Состояние местного иммунитета полости рта при хроническом генерализованном парадонтите //Вестник науки и образования. – 2020. – №. 14-4 (92). – С. 35-40.

6. Kapur S, Bhalla AS, Jana M. Pediatric chest MRI: review. Indian J Pediatr. 2019.

7. Liszewski MC, Ciet P, Lee EY. Pediatric lung/airway MRI: past and present. Magn Reson Imaging Clin N Am. 2019.

8. Liszewski MC, Görkem S, Sodhi KS, Lee EY. Lung MRI for pediatric pneumonia. Pediatr Radiol. 2017.

9. Liszewski MC, Ciet P, Sodhi KS, Lee EY. MRI evaluation of pediatric large airways: update. AJR Am J Roentgenol. 2017.

10. Milito C, Pulvirenti F, Serra G, et al. DWI lung MRI in primary antibody deficiencies. J Clin Immunol. 2015.

11. Ozcan HN, Gormez A, Ozsurekci Y, et al. MRI vs MDCT for pulmonary infection in immunocompromised children. Pediatr Radiol. 2017.

12. Pennati F, Roach DJ, Clancy JP, et al. Structure-function assessment in cystic fibrosis: proton MRI and CT. J Magn Reson Imaging. 2018.

13. Rana P, Sodhi KS, Bhatia A, et al. 3T lung MRI accuracy in HIV-positive children. Pediatr Radiol. 2020.

14. Singh R, Garg M, Sodhi KS, et al. MRI accuracy for pulmonary infections in immunocompromised patients. Pol J Radiol. 2020.

15. Sodhi KS, Lee EY. Radiation risk of CT in paediatric patients. Acta Paediatr. 2014.

16. Sodhi KS, Khandelwal N, Saxena AK, et al. Rapid lung MRI in pediatric pulmonary infections. J Magn Reson Imaging. 2016.

17. Sodhi KS, Khandelwal N, Saxena AK, et al. Rapid lung MRI in febrile neutropenia (children with leukemia). Leuk Lymphoma. 2016.

18. Sodhi KS, Bhalla AS, Mahomed N, Laya BF. Imaging of thoracic tuberculosis in children. Pediatr Radiol. 2017.

19. Sodhi KS, Sharma M, Saxena AK, et al. MRI in pediatric thoracic tuberculosis. Indian J Pediatr. 2017.

20. Sodhi KS, Sharma M, Lee EY, et al. 3T lung MRI in pediatric interstitial lung disease. Acad Radiol. 2018.

21. Sodhi KS, Gupta P, Shrivastav A, et al. 3T lung MRI in allergic bronchopulmonary aspergillosis. Eur J Radiol. 2019.

22. Sodhi KS, Bhatia A, Samujh R, et al. MRI vs contrast-enhanced MDCT for pediatric pulmonary hydatid disease. AJR Am J Roentgenol. 2019.

23. Sodhi KS, Bhalla AS, Mahomed N, Laya BF. Imaging of thoracic tuberculosis in children. Pediatr Radiol. 2017.

24. Torres L, Kammerman J, Hahn AD, et al. Ultra-short echotime MRI for structure-function lung imaging. Acad Radiol. 2019.

25. Wielpütz MO, von Stackelberg O, Stahl M, et al. Standardisation of chest MRI in young children with cystic fibrosis. J Cyst Fibros. 2018.

26. Willmering MM, Robison RK, Wang H, et al. FLORET UTE sequence implementation for lung imaging. Magn Reson Med. 2019.

27. Yikilmaz A, Koc A, Coskun A, et al. MRI vs chest radiographs for pediatric pneumonia (fast sequences, 1.5T). Acta Radiol. 2011.

28. Zirpoli S, Munari AM, Primolevo A, et al. MRI vs CT in postnatal evaluation of congenital lung malformations. Eur Radiol. 2019.

РОЛЬ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЁГКИХ У ДЕТЕЙ

Нарзикулов Ш.Ф., Хамидова Ф.М.

Резюме. Магнитно-резонансная томография лёгких остаётся одним из наименее используемых методов визуализации при заболеваниях органов грудной клетки у детей. Основными причинами этого являются сравнительно низкое качество изображений лёгочной паренхимы и наличие значительных технических трудностей, связанных с визуализацией органов, содержащих воздух. Вместе с тем развитие МР-технологий за последнее десятилетие, а также оптимизация протоколов сканирования привели к пересмотру роли МРТ и расширению её клинического применения в педиатрической практике. Современные МР-методы позволяют рассматривать МРТ как реальную альтернативу компьютерной томографии при ряде заболеваний органов грудной клетки у детей, обеспечивая сопоставимую диагностическую информацию без использования ионизирующего излучения. Это особенно важно в педиатрической популяции, где повторные лучевые исследования связаны с потенциальными отдалёнными радиационными рисками. В данной обзорной статье рассматриваются современные показания к проведению МРТ органов грудной клетки у детей, особенности протоколов исследования, преимущества и ограничения метода. Особое внимание уделено применению МРТ при инфекционных заболеваниях лёгких, патологии средостения, врождённых аномалиях, заболеваниях крупных дыхательных путей, а также у иммунокомпрометированных пациентов и детей с муковисцидозом. Обсуждаются новые МР-последовательности и перспективные направления развития функциональной МР-томографии лёгких. Статья подчёркивает потенциал МРТ как безопасного и информативного метода комплексной анатомической и функциональной оценки бронхолёгочной системы у детей и рассматривает её как «менее проторённый путь», открывающий новые горизонты в детской торакальной радиологии.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, заболевания лёгких у детей, педиатрическая радиология, МРТ органов грудной клетки, диагностика бронхолёгочной патологии.