



МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПО ПРОТОКОЛУ WHOLE BODY У ДЕТЕЙ: КЛИНИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

© Анна Андреевна Разинова¹, Ольга Федоровна Позднякова¹, Вера Васильевна Масалова¹, Александр Владимирович Поздняков¹, Леонид Михайлович Макаров^{1,2}, Юрий Валентинович Петренко¹, Мария Александровна Силантьева¹

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., 2

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1

Контактная информация: Анна Андреевна Разинова — ассистент кафедры Медицинской биофизики СПбГПМУ. E-mail: annichok@mail.ru

Резюме. Магнитно-резонансная томография по протоколу whole body — это метод диагностики, который позволяет получать изображения всего тела всего за один сеанс сканирования. Данный метод диагностики широко применяется в клинической практике для диагностики онкологических и неонкологических заболеваний детского возраста. В данной статье описаны возможности применения протокола whole body магнитно-резонансной томографии в диагностике следующих типов патологии у детей: злокачественные и доброкачественные новообразования, нейрофиброматоз, мультифокальный остеомиелит, ювенильный идиопатический артрит и др. Важную роль в выборе тактики ведения и лечения пациента играет своевременная и полная диагностика заболевания. В этом аспекте магнитно-резонансная томография по протоколу whole body имеет ряд преимуществ, поскольку обеспечивает визуализацию состояния осевых и периферических суставов, воспалительные изменения в органах и тканях организма, визуализирует новообразования. Тенденция к росту заболеваемости детей онкологическими и неонкологическими заболеваниями, а также возможность по результатам одного исследования оценить состояние всего тела пациента обуславливают широкое применение магнитно-резонансной томографии с использованием протокола whole body.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, протокол whole body, нейрофиброматоз, мультифокальный остеомиелит, ювенильный идиопатический артрит.

MAGNETIC RESONANCE IMAGING ACCORDING TO THE WHOLE BODY PROTOCOL IN CHILDREN WITH JUVENILE IDIOPATHIC ARTHRITIS: CLINICAL USE (LITERATURE REVIEW)

© Anna A. Razinova¹, Olga F. Pozdnyakova¹, Vera V. Masalova¹, Alexander V. Pozdnyakov¹, Leonid M. Makarov^{1,2}, Yuri V. Petrenko¹, Maria A. Silantjeva¹

¹ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Saint-Petersburg, Litovskaya str., 2

² Saint-Petersburg state University of telecommunications prof. M. A. Bonch-Bruevich. 193232, St. Petersburg, Bolshevikov ave., 22, building 1

Contact information: Anna A. Razinova — Assistant, Department of Medical Biophysics, SpbSPMU. E-mail: annichok@mail.ru

Summary. Magnetic resonance imaging using the whole body protocol is a diagnostic method that allows to receive whole body images in just one scan session. This diagnostic method is widely used in clinical practice for the diagnosis of oncological and non-oncological diseases of childhood. This article describes the possibilities of using the whole body protocol of magnetic resonance imaging in the diagnosis of the following types of pathology in children: malignant and benign neoplasms, neurofibromatosis, multifocal osteomyelitis, juvenile idiopathic arthritis, etc. An important role in choosing tactics of conducting and treating the patient is played by timely and complete diagnosis of the disease. In this aspect, magnetic resonance imaging using the whole body protocol has several advantages,

since it provides visualization of the state of axial and peripheral joints, inflammatory changes in the organs and tissues of the body, and visualizes neoplasms. The tendency toward an increase in the incidence of children with cancer and non-cancer, as well as the ability to assess the condition of the patient's entire body based on the results of one study, determine the widespread use of magnetic resonance imaging using the whole body protocol.

Key words: magnetic resonance imaging, whole body protocol, neurofibromatosis, multifocal osteomyelitis, juvenile idiopathic arthritis.

ВВЕДЕНИЕ

По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации и Росстата, заболеваемость детей от 0 до 14 лет в Российской Федерации в целом неуклонно растет в течение последних 18 лет и на 2018 год составляет 45210,9 тыс.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) по протоколу whole body была разработана для оценки множества онкологических и неонкологических заболеваний у детей [45]. МРТ всего тела позволяет оценить анатомию и топографию систем органов благодаря высокому контрасту мягких тканей и пространственному разрешению, что, в свою очередь, позволяет диагностировать диффузные, системные и мультифокальные поражения [1, 12, 4, 5]. Это достигается без риска ионизирующего излучения, характерного для других лучевых методов визуализации с большим полем зрения (FOV). Также немаловажным является и тот факт, что МРТ по протоколу whole body проводится обычно без использования контрастных веществ, которые способны индуцировать развитие нефрогенного системного фиброза. Благодаря этому указанный метод диагностики находит все новые диапазоны применения в педиатрической практике.

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПО ПРОТОКОЛУ WHOLE BODY

Общие преимущества МРТ хорошо известны. Указанная программа обеспечивает охват всего тела за одно исследование благодаря увеличению поля обзора FOV путем «сшивания» блоков сканирования (рис. 1). Это позволяет сказать, что МРТ всего тела — это многорегиональная непрерывная визуализация всего тела.

Чаще всего сканирование проводится в корональной плоскости. Последовательно происходит съемка каждого блока, число которых определяется ростом пациента. После исследования эти блоки между собой «сшиваются» для создания единого поля обзора FOV посредством постпроцессинговой обработки. Неизбежны артефакты от сшивания на границах блоков, так как при этом происходит потеря слабых сигналов (рис. 2) [45]. Минимизировать потери возможно за счет фазовой передискретизации. Для улучшения качества изображения используются катушки индуктивности различных видов, в том числе и специализированные.

Стандартного протокола МРТ по протоколу whole body в настоящее время не существует. Каждый исследователь выбирает необходимые ему импульсные последовательности, которые наиболее полно будут отражать всю картину патологии. Почти всегда используется импульсная последовательность инверсии-восстановления спинного эха

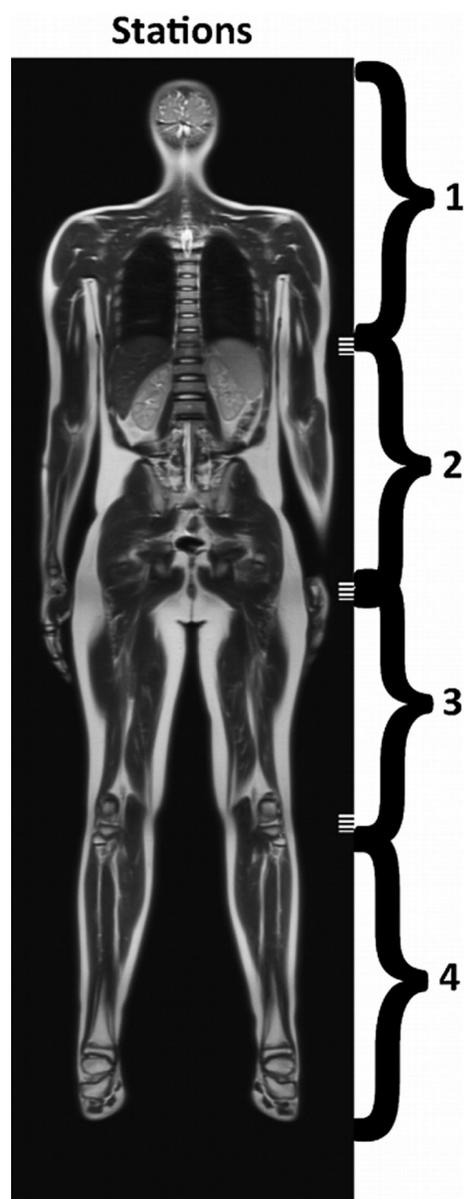


Рис. 1. Скобками выделены отдельные блоки сканирования, которые при постпроцессинговой обработке объединяются в одно единое поле обзора [45]



Рис. 2. Стрелками указаны артефакты от «сшивания» блоков [45]

(STIR) в коронарной плоскости сканирования. Она предоставляет анатомическую картину с типичными яркими участками патологических изменений, которые визуализируются благодаря подавлению жира [11, 3, 8]. Как правило, может использоваться для визуализации поражений костного мозга, органов, мягких тканей. Также довольно часто применяется ускоренная спин-эхо импульсная последовательность T_1 , а также импульсная последовательность взвешенная по T_2 [2, 4, 6, 7, 11, 12]. Нередко исследователи используют диффузионно-взвешенное изображение (DWI) для обнаружения

патологии, определения характеристик поражений при измерении кажущегося коэффициента диффузии (ADC) [5, 8, 9]. Параметры диффузии задаются исследователями индивидуально в зависимости от возможностей томографа и диагностической ценности последовательности, но наиболее часто используются значения градиентного фактора $b=0$ и $b=1000$.

Среднее время сканирования при исследовании всего тела по протоколу whole body MPT составляет от 30 до 60 минут. Седация или общий наркоз требуется пациентам в возрасте до 6 лет.

ДИАГНОСТИКА НОВООБРАЗОВАНИЙ

В настоящее время спектр применения whole body протокола магнитно-резонансной томографии довольно широк. Например, whole body протокол MPT используется для диагностики злокачественных и доброкачественных новообразований. Это возможно благодаря тому, что MPT позволяет получать изображения с высоким пространственным разрешением и отличным контрастом мягких тканей по всему телу. Это делает его идеальным инструментом для обнаружения онкопатологии (рис. 3), особенно локализуемой в паренхиме и в костном мозге [12].

Область применения протокола whole-body магнитно-резонансной томографии в онкологии довольно широка в настоящее время. Для проведения исследования наиболее часто используются следующие импульсные последовательности: инверсия-восстановление спинного эха (STIR), изображение взвешенное по T_1 пре- и постконтрастное, T_2 -взвешенное изображение, диффузионно-взвешенное изображение (DWI), параметры последовательностей при этом варьируются в зависимости от типа патологии. Исследование может проводиться в коронарной, аксиальной и сагитальной плоскостях. Контрастирование выполняется только тогда, когда планируется поиск очагов в печени или мозге, в зависимости от первичного рака. Импульсная последовательность STIR используется наиболее часто в MPT по протоколу whole-body, потому что большинство патологических тканей богаты протонами с длительным T_1 и T_2 временами релаксации, что приводит к высокой интенсивности сигнала на STIR изображениях. Более того, подавление сигнала жира на STIR изображениях более надежно и однородно, чем на T_2 -взвешенных изображениях с жироподавлением. T_1 -взвешенная последовательность FSE особенно полезна для оценки анатомических поражений, также она увеличивает специфичность определения вовлечения в патологический процесс костного мозга [12, 20, 44].

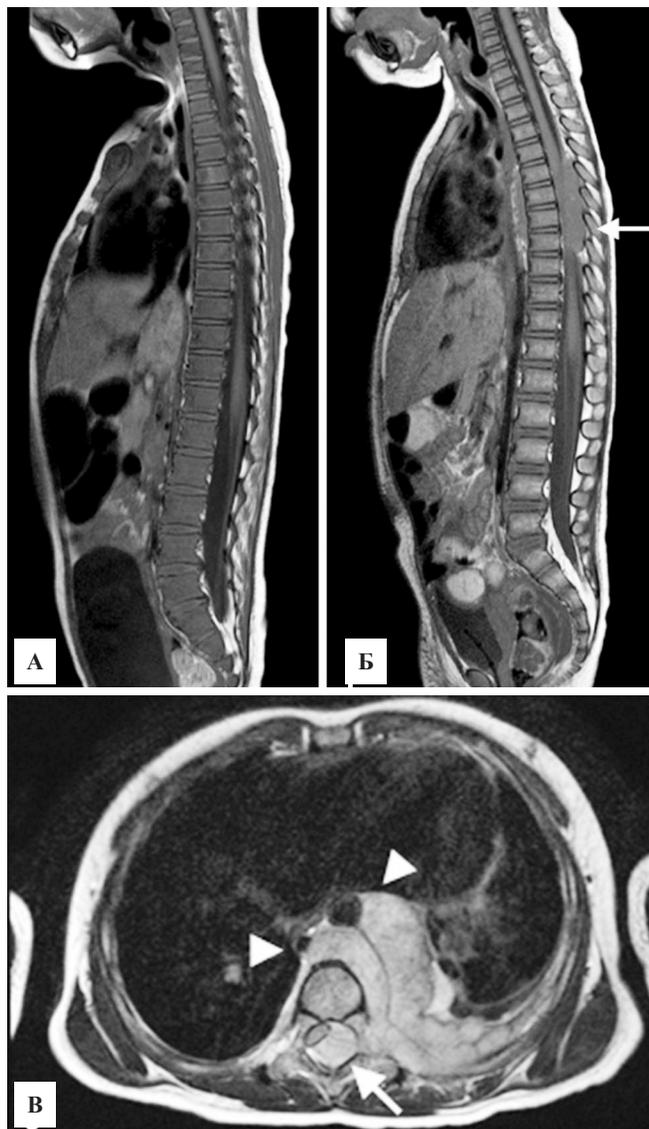


Рис. 3. Изображение T1 (SE) в сагиттальной плоскости у двух пациентов с диагнозом нейробластома:

- А — изображение 3-летней девочки с доказанным вовлечением костного мозга иллюстрирует диффузную низкую интенсивность сигнала костного мозга позвоночника по сравнению с межпозвоночным диском, что наводит на мысль о диффузной инфильтрации костного мозга, тогда как нормальный гемопоэтический костный мозг слегка гиперинтенсивен по сравнению с межпозвоночным диском на последовательности T1;
- Б — изображение 2-летней девочки с нейробластомой грудной клетки показывает отсутствие поражения костного мозга в телах позвонков (стрелка);
- В — изображение 2-летней девочки с нейробластомой, импульсная последовательность T2 в аксиальной плоскости демонстрирует интрадуральное экстрамедулярное расположение образования со смещением и компрессией спинного мозга (стрелка). Визуализируется образование, расположенное слева вдоль аорты и тела позвонка (стрелки треугольники) — ключевые особенности визуализации нейробластомы [12]

МРТ — чувствительный метод для оценки костного мозга. Но ему не хватает специфичности. Здоровый костный мозг богат жиром и водой, которые вместе формируют сигнал на МРТ. Красный костный мозг содержит около 40% жира и 40% воды, тогда как желтый костный мозг состоит примерно из 80% жира и 15% воды. Турбо спин-эхо (TSE) последовательности позволяют превосходно дифференцировать красный и желтый костный мозг, так как их сигнальные характеристики различны. Тем не менее, последовательность T₁ способна обнаружить весь жир в костном мозге, включая 40% жира, присутствующего в красном костном мозге. Поэтому красный костный мозг имеет гиперинтенсивный сигнал по отношению к мышцам и межпозвоночным дискам [12].

При злокачественной инфильтрации костного мозга его жировое содержимое замещается жидкостью (отек). Таким образом, патологический костный мозг имеет низкий T₁-сигнал и высокий T₂-сигнал. Но у молодых пациентов обнаружение заболеваний костного мозга затруднено из-за высокого клеточного состава здорового красного костного мозга. В связи с этим могут быть ошибки диагностики патологии [12].

Ходжкинская и неходжкинская лимфомы.

Ходжкинская и неходжкинская лимфомы занимают третье место среди наиболее распространенных форм злокачественных новообразований у детей, после лейкемии и опухолей головного мозга [13]. Существует повышенный интерес к использованию последовательности DWI благодаря четкой визуализации лимфоидной ткани [12]. Комплексная МРТ по протоколу whole body включала получение изображений в коронарной плоскости всех областей тела. Коронарная плоскость была выбрана как наиболее эффективная, поскольку при использовании максимально возможного поля обзора (FOV) она позволяет охватывать большую полезную площадь среза по сравнению с сагиттальной и аксиальной плоскостями.

Для получения T₂-взвешенных изображений (T₂-ВИ) использовали турбо спин-эхо импульсную последовательность с неполным заполнением матрицы k-пространства HASTE (Half-Fourier Acquisition Single-shot Turbo spin-Echo), которая маловосприимчива к двигательным (в том числе дыхательным) артефактам, обеспечивает достаточно высокую разрешающую способность и контрастность паренхиматозных органов и мягких тканей, позволяет четко дифференцировать сосуды и жидкостные структуры, качественно визуализи-

ровать очаговые изменения в легких размером более 0,5 см.

Для получения T_2 -ВИ с подавлением сигнала от жировой ткани использовали трехмерный вариант последовательности инверсия-восстановление с коротким временем инверсии сигнала — STIR (Short Tau inversion Inversion-Recovery) и с проспективной коррекцией двигательных артефактов — SPACE (SPAtial and Chemical shift encoded Excitation). При использовании больших FOV последовательность STIR позволяет более надежно подавлять сигнал жировой ткани по сравнению с частотным «жиронасыщением» (fat saturation) благодаря меньшей чувствительности к неоднородностям магнитного поля.

Для получения DWI применяли эхопланарную последовательность с подавлением сигнала фона — DWIBS (Diffusion Weighted Imaging with Background Suppression) в аксиальной плоскости, без синхронизации с дыханием пациента. В дополнение к DWIBS применялась методика частотного «жиронасыщения» (избирательного подавления сигнала жировой ткани). Такой подход обеспечивает более равномерное подавление сигнала жировой ткани, хотя и является более затратным по времени [19].

Также протокол whole body MPT может использоваться для диагностики гистиоцитоза в тканях. В результате проведения исследования получаем следующие результаты: большинство костных повреждений будет иметь промежуточный гипоинтенсивный сигнал на T_1 -взвешенных изображениях и сигнал гиперинтенсивный на T_2 -взвешенных изображениях и STIR (рис. 4), [14, 15].

На постконтрастных T_1 -взвешенных изображениях видно периферическое усиление сигнала. Кроме того, раннее исследование покажет отек в соседнем костном мозге, надкостнице и мягких тканях [12].

Предрасполагающие раковые синдромы. Протокол whole body MPT является перспективным инструментом визуализации в оценке генетической предрасположенности раковых синдромов у детей, особенно из-за отсутствия ионизирующего излучения. В результате проведения исследования все аномалии обнаруживались лучше всего на STIR изображениях [12].

ДИАГНОСТИКА НЕОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО ПРОТОКОЛУ WHOLE BODY MPT

Количество неонкологических заболеваний у детей с каждым годом увеличивается, увеличивается соответственно и область применения MPT всего тела при данных типах патологии. Наиболее частой неонкологической патологией детско-

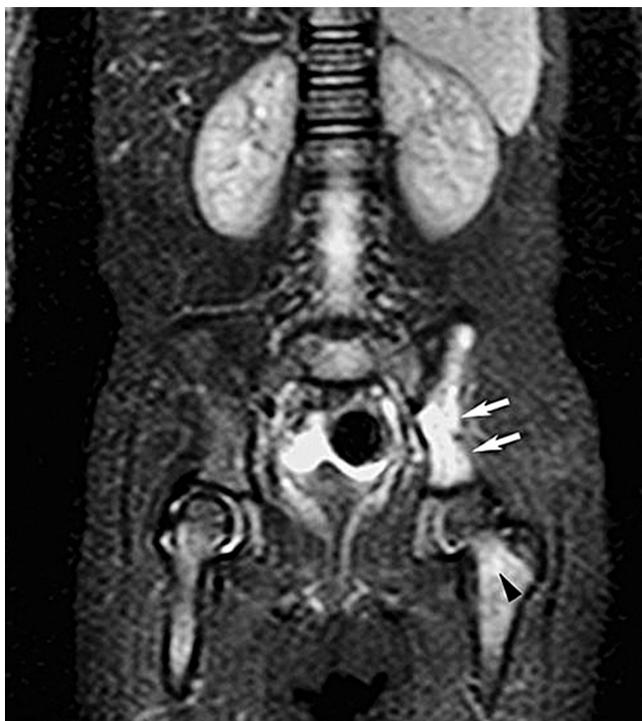


Рис. 4. Томограмма 2-летней девочки с рецидивирующим гистиоцитозом из клеток Лангерганса, патологически подтвержденным биопсией черепа. Последовательность STIR в корональной плоскости показывает гиперинтенсивное поражение в левой подвздошной кости (стрелки). Небольшое гиперинтенсивное поражение также наблюдается в проксимальном отделе левой бедренной кости (наконечник стрелки) [14]

го возраста являются ревматологические заболевания, в частности ювенильный идиопатический артрит (ЮИА), мультифокальный остеомиелит, воспалительные миопатии, спондилоартрит (анкилозирующий спондилит) и др. MPT всего тела может быть использована для выявления поражений костного мозга, суставов и мягких тканей, также данное исследование необходимо для постановки диагноза, определения тактики ведения и лечения пациента, степени и ответа на терапию и для определения степени активности болезни [12].

ДИАГНОСТИКА ЮВЕНИЛЬНОГО ИДИПАТИЧЕСКОГО АРТРИТА

Ювенильный идиопатический артрит (ЮИА) — это не заболевание, а термин, который включает в себя все формы артрита с неизвестной этиологией, дебютирующие в возрасте до 16 лет и длящиеся более 6 недель. Заболеваемость ЮИА составляет 2–16 на 100 тыс. детского населения. Распространенность ЮИА в разных странах колеблется от 0,05 до 0,6% [36, 37, 38].

Общепринятой является классификация ювенильного идиопатического артрита Всемирной лиги ревматологических ассоциаций (ILAR) второго пересмотра (Эдмонтон, 2001), в соответствии с которой выделяют следующие варианты заболевания:

- системный ювенильный идиопатический артрит;
- олигоартикулярный ювенильный идиопатический артрит;
- полиартикулярный ювенильный идиопатический артрит, РФ-негативный;
- полиартикулярный ювенильный идиопатический артрит, РФ-позитивный;
- ювенильный псориатический артрит;
- артрит, ассоциированный с энтезитом;
- недифференцированный артрит (артрит, не отвечающий критериям какой-либо категории или отвечающий критериям более чем двух из представленных категорий) [10, 45].

В настоящее время существует множество инструментальных методов диагностики поражений суставов как на раннем этапе развития патологии, так и на позднем. Однако все эти методики отличаются по информативности и специфичности.

Диагноз «ювенильный идиопатический артрит» базируется прежде всего на клинических, лабораторных и рентгенологических данных [39]. МРТ обладает высоким потенциалом для выявления ранних признаков воспаления и патологии суставов при ЮИА в сравнении с рентгенологическим и ультразвуковым методами диагностики. Данная методика позволяет оценить состояние всех составляющих сустава, включая и установление пролиферирующего синовия, также она позволяет контролировать прогрессирование заболевания и эффективность терапии [11, 39, 40–42].

Для диагностики патологии костно-мышечного аппарата используются рутинные методы МРТ пораженных суставов. При вариантах ЮИА у пациента поражаются различные суставы, их может быть несколько, особенно при полиартикулярной форме. Тогда, для оценки состояния больного и своевременной постановки диагноза при появлении жалоб у пациента, необходимо проводить магнитно-резонансную томографию всех поврежденных суставов. Но, эти исследования занимают длительное время, они также дорогостоящие и не все пациенты способны оплатить данные диагностические процедуры. Также пациенту необходимо неподвижно лежать во время исследования довольно длительное время. Все эти факты говорят о том, что необходимо альтернативное исследование, которое поможет преодолеть эти затруднения.

Поэтому в настоящее время широкое применение получила МРТ всего тела по протоколу whole body для диагностики различных форм ЮИА.

Стандартного протокола исследования МРТ всего тела при ЮИА нет. Наиболее часто используют следующие импульсные последовательности: инверсия-восстановление спинного эха (STIR), последовательность T_1 пре- и постконтрастная, реже используют последовательность T_2 с жироводавлением и диффузионно-взвешенное изображение (DWI), параметры последовательностей при этом варьируются в зависимости от типа патологии и целей.

Исследование может проводиться в корональной и сагиттальной или корональной и аксиальной плоскостях с использованием контраста или без него. В результате проведения такого исследования визуализируются: воспаление (синовит, отек костного мозга, энтезит) и структурные изменения (костные эрозии и жировая инфильтрация). В дополнении к этому последовательность DWI показывает, что в результате ее использования возможно обнаружить повреждения, которые не определяются и не визуализируются при клиническом осмотре и опросе пациента намного лучше, чем другие последовательности [26, 31–34].

МРТ всего тела может играть роль в оценке как активных суставов, так и бессимптомных о наличии выпота, особенно в тех местах, которые не так легко доступны клиническим методам (височно-нижнечелюстной сустав, крестцово-подвздошный сустав) (рис. 5), [35].

ДИАГНОСТИКА ДРУГИХ РЕВМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Довольно широкую область применения протокола whole body занимают заболевания ревматологического профиля, такие как мультифокальный остеомиелит, воспалительные миопатии, спондилоартрит (анкилозирующий спондилит).

Для диагностики мультифокального остеомиелита при помощи магнитно-резонансной томографии всего тела наиболее часто исследователями используются следующие последовательности: инверсия-восстановление спинного эха (STIR), последовательность T_1 пре- и постконтрастная, реже используют последовательность T_2 .

Изображение получают в корональной плоскости. Контрастное усиление сигнала не используется, так как изменения при данной патологии хорошо визуализируются и без использования контрастного вещества [21–25].

В результате использование вышеуказанных последовательностей можно обнаружить сле-

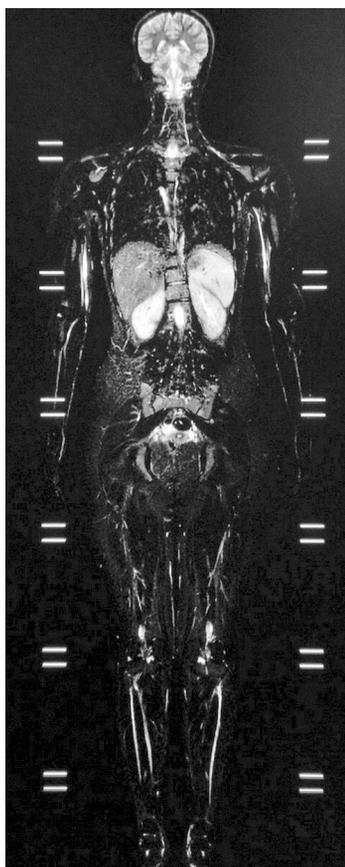


Рис. 5. Последовательность STIR показывает небольшую специфическую область отека костного мозга, соответствующую области левого крестцово-подвздошного сустава [34]

дующие типы патологии: мультифокальное вовлечение костей, характеризующееся отеком на STIR изображениях (рис. 6). Наиболее частыми локализациями являются область таза (крестцово-подвздошные суставы, вертлужная впадина, лобковые сочленения), проксимальный отдел бедренной кости, дистальный отдел большеберцовой кости, ключица, верхняя конечность, позвоночник. Внутрисуставные выпоты были описаны (колени, плечо, лодыжки), но не всегда были найдены клинически. Также выявляется полисерит, воспалительные сигналы в мышцах, периостит с отеком [21, 23]. Во время активной фазы заболевания возможно выявить типичный отек костного мозга, сигнал которого гипоинтенсивный на T_1 -ВИ и гиперинтенсивный на T_2 -ВИ. Связанный периостит, воспаление мягких тканей также могут визуализироваться в результате данного исследования [22]. Этот протокол имеет превосходную чувствительность для общего числа, места нахождения и возможной симметрии всех поражений при данной патологии [24].

Whole body протокол МРТ полезен для обнаружения бессимптомных и рентгенологически скрытых мультифокальных поражений при хроническом мультифокальном остеомиелите [25].

Для диагностики воспалительных миопатий исследователи предпочитают использование следующих импульсных последовательностей протокола whole body МРТ: последовательность T_1 , последовательность T_2 с жироподавлением и инверсия-восстановление спинного эха (STIR). Параметры последовательностей при этом варьируются в зависимости от типа патологии и целей исследования.

Исследование выполняется в корональной плоскости, используется контрастное усиление сигнала. В результате использования МРТ всего тела возможно отличать активное заболевание от хронического [20]. Также возможно обнаружение отека внутри и вокруг мышц, мышечной кальцификации, жировой инфильтрации [26]. Но главная роль магнитно-резонансной томографии в том, что возможно выявление участка активного заболевания для ориентировки биопсии, чтобы в дальнейшем поставить окончательный гистологический диагноз [20].

Анкилозирующий спондилит представляет собой хроническое воспалительное ревматическое заболевание, главным образом влияющее на крестцово-подвздошный сустав и позвоночник. Ведущим симптомом является боль в спине вследствие воспалительного поражения суставов [27]. Для диагностики используется магнитно-резонансная томография всего тела с наиболее частым использованием следующих импульсных последовательностей: последовательность T_1 , инверсия-восстановление спинного эха (STIR), последовательность T_2 с жироподавлением.



Рис. 6. 14-летний мальчик с мультифокальным остеомиелитом, затрагивающим крестцово-подвздошные суставы. Последовательность STIR в корональной плоскости показывает аномальную интенсивность сигнала от крестца с обеих сторон (стрелки) [25]

Исследование проводят в корональной и сагитальной плоскости с использованием контрастного вещества. Последовательность T_2 с жиродавлением используется в качестве дополнительной последовательности [20, 26–30].

В результате проведения данного исследования могут визуализироваться: активность и воспалительные изменения крестцово-подвздошных суставов и позвоночника, спинальный энтезис, отек костного мозга, синовиты, капсулиты, костные эрозии, жировая инфильтрация [20, 26–30].

Оценка содержания жира в теле человека. Важным практическим применением МРТ всего тела является возможность оценки содержания жира в теле человека — относительного или абсолютного. При разработке процедур, способствующих снижению содержания жира, необходимо проводить соответствующий мониторинг. Для этой цели весьма эффективным представляется анализ МР-изображений всего тела.

Такой анализ удобно проводить на обычных T_1 или T_2 -TSE изображениях. Яркий сигнал от жировой ткани на МР-изображениях обусловлен его коротким временем продольной релаксации. Поэтому жировая ткань хорошо визуализируется на T_1 , а

также T_2 -TSE взвешенных изображениях. Однако наличие в структурах тела сходных по контрасту тканей требует дополнительной их дифференциации. Удобно провести такую дифференциацию путем вычитания двух изображений, одно из которых получено для обычного режима сканирования, а второе — для того же режима, но с подавлением сигнала от жировой ткани (рис. 7).

Результаты проведенных исследований указывают на хорошее соответствие известным данным о содержании жира в теле человека, что указывает на обоснованность примененного подхода [16].

Нейрофиброматоз. Протокол whole body МРТ также может использоваться для диагностики нейрофиброматоза — наследственного опухолевого синдрома.

Нейрофиброматоз — нейрогенетическое расстройство, характеризующееся предрасположенностью к развитию множественных опухолей оболочек нервов. Заболевание классифицируется на нейрофиброматоз 1-го и 2-го типов. Клиническим проявлением патологии является образование нейрофибром при 1-м типе и шванном при 2-м типе заболевания. Оба типа могут повлиять на кожу и глубокие ткани (рис. 8), [17].

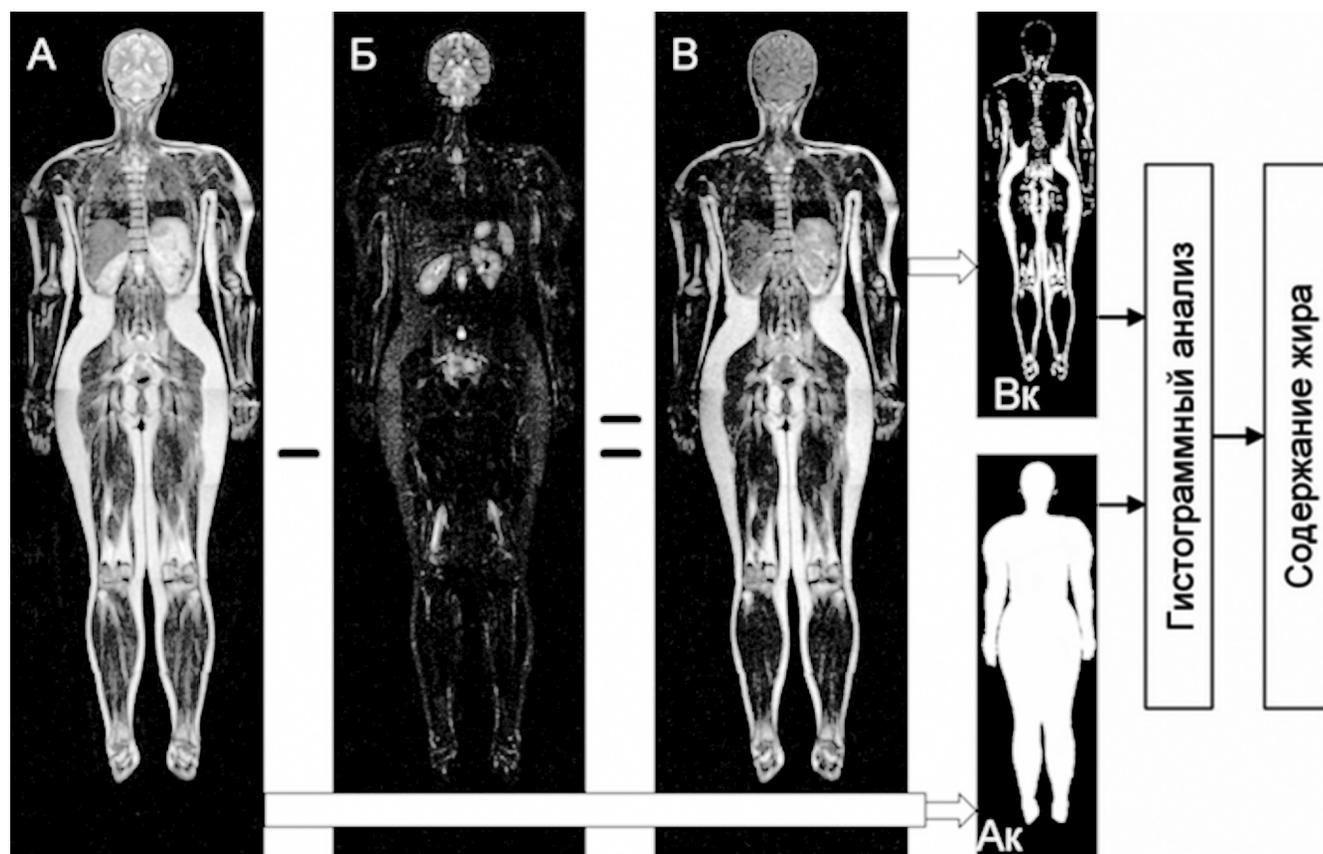


Рис. 7. Схема расчета содержания жира по данным МРТ всего тела человека [16]

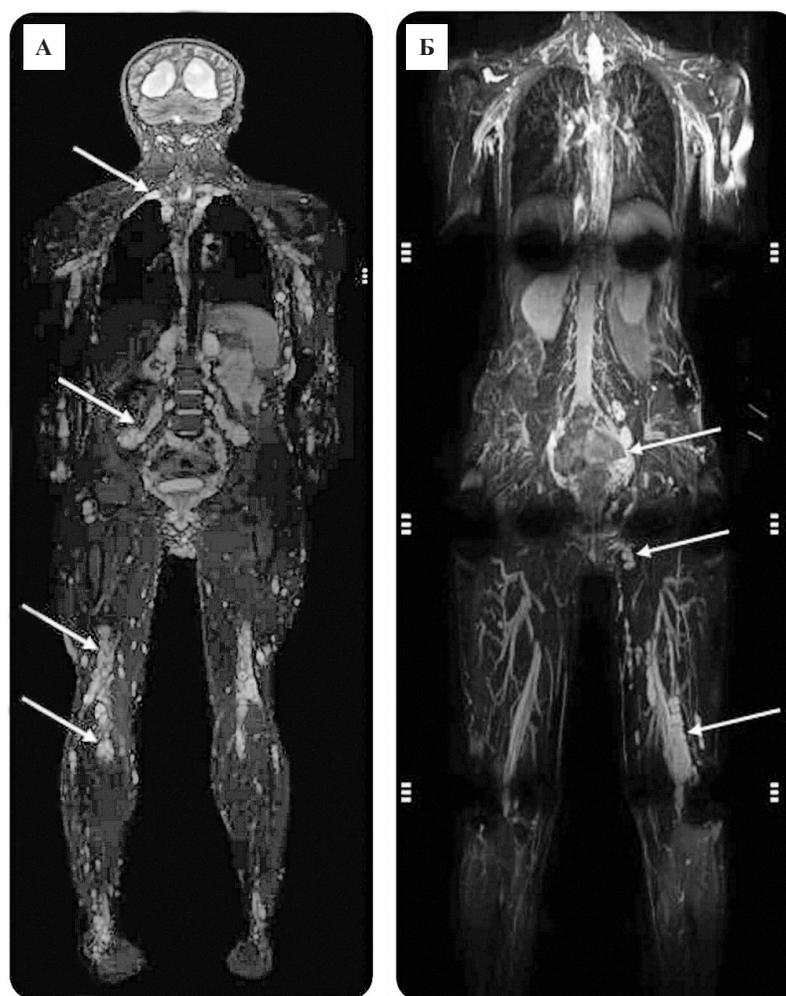


Рис. 8. Идентификация опухолей, распределенных по анатомическим областям [18]:

А — пациент с шванноматозом; Б — пациент с нейрофиброматозным типом 1

Протокол whole body MPT используется для оценки опухолевой массы и характеризует новообразования у пациентов. Для диагностики авторами были использованы следующие последовательности магнитно-резонансной томографии: последовательность STIR в коронарной и аксиальной плоскости; последовательность T_1 пре- и постконтрастная как с жироподавлением так и без в коронарной и аксиальной плоскостях, последовательность T_2 с жироподавлением в коронарной и аксиальной плоскостях.

Протокол whole body MPT обеспечивает непрерывное покрытие поражений, которые пересекают анатомические границы и, следовательно, не могут полностью визуализироваться с помощью локальной магнитно-резонансной томографии. Это дает значительное преимущество при оценке пациентов с нейрофиброматозом, где часто встречаются большие инфильтративные опухоли, которые могут быть пропущены без использования протокола

whole body. Он позволяет оценить дифференцированный сигнал в пределах и за пределами опухоли с течением времени. STIR-изображение позволило оценить тяжесть опухолевого процесса. Большинство патологических очагов, в том числе опухолей, богаты протонами с длительным T_1 и T_2 временами релаксации и повышением интенсивности сигнала на STIR изображениях. Кроме того, подавление сигнала жира более стойкое и однородное на протоколе STIR по сравнению с другими селективными последовательностями. Эти особенности делают протокол STIR ценным для обнаружения и измерения опухолей оболочек периферических нервов и оценки всей опухолевой массы [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Протокол whole-body MPT — это решение многих диагностических, клинических и бюрократических проблем. Возможность оценить состояние всего тела за одно исследование может помочь в

решении многих задач у пациентов с онкологическими и неонкологическими заболеваниями. МРТ — это метод, который на данный момент является способом диагностики без использования радиоактивного излучения, что позволяет его частое применение у детей.

Таким образом, широкое применение протокола whole-body МРТ для диагностики опухолей, нейрофиброматоза, различных типов патологии мышц, мультифокального остеомиелита, различных форм ЮИА, говорит о больших диагностических возможностях визуализации патологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

- Atkin K.L., Ditchfield M.R. The role of whole-body MRI in pediatric oncology. *J Pediatr Hematol Oncol.* 2014; 36: 342–52.
- Davis J.T., Kwatra N., Schooler G.R. Pediatric whole-body MRI: a review of current imaging techniques and clinical applications. *J Magn Reson Imaging.* 2016; 44: 783–93.
- Greer M.C., Voss S.D., States L.J. Pediatric cancer predisposition imaging: focus on whole-body MRI. *Clin Cancer Res.* 2017; 23: e6–e13.
- Chavhan G.B., Babyn P.S. Whole-body MR imaging in children: principles, technique, current applications, and future directions. *Radiographics.* 2011; 31: 1757–72.
- Attariwala R., Picker W. Whole body MRI: improved lesion detection and characterization with diffusion weighted techniques. *J Magn Reson Imaging.* 2013; 38: 253–68.
- Teixeira S.R., Elias Junior J., Nogueira-Barbosa M.H. et al. Whole-body magnetic resonance imaging in children: state of the art. *Radiol Bras.* 2015; 48: 111–120.
- Goo H.W. Whole-body MRI in children: current imaging techniques and clinical applications. *Korean J Radiol.* 2015; 16: 973–85.
- Morone M., Bali M.A., Tunariu N. et al. Whole-body MRI: current applications in oncology. *AJR Am J Roentgenol.* 2017; 209: W336–W349.
- Nivelstein R.A., Littooi A.S. Whole-body MRI in paediatric oncology. *Radiol Med.* 2016; 121: 442–53.
- Алексеева Е.И. Ювенильный идиопатический артрит: клиническая картина, диагностика, лечение. *Вопросы современной педиатрии.* 2015; 14(1): 78–94.
- Траудт А.К., Завадовская В.Д., Жогина Т.В., Фёдорова Е.И. Магнитно-резонансная томография в диагностике ювенильного идиопатического артрита. *Бюллетень сибирской медицины.* 2015; 14(1): 110–119.
- Rutger A. J. Nivelstein, Annemieke S. Littooi. Whole-body MRI in paediatric oncology, *La radiologia medica;* 2016: 442–53.
- Punwani S., Taylor S.A., Bainbridge A. et al. Pediatric and adolescent lymphoma: comparison of whole-body STIR half-Fourier RARE MR imaging with an enhanced PET/CT reference for initial staging. *Radiology.* 2010; 255(1): 182–90.
- Goo H.W., Yang D.H., Ra Y.S., Song J.S., Im H.J., Seo J.J., Ghim T., Moon H.N. Whole-body MRI of Langerhans cell histiocytosis: comparison with radiography and bone scintigraphy. *Pediatr Radiol.* 2006; 36: 1019–31.
- Steinborn M., Wörtler K., Nathrath M., Schöniger M., Hahn H., Rummeny E.J. Whole-body MRI in children with Langerhans cell histiocytosis for the evaluation of the skeletal system. *RoFo.* 2008; 180: 646–53.
- Анисимов Н.В., Гуляев М.В., Корецкая С.В., Верхоглазова Е.В., Герус М.А., Пирогов Ю.А. Магнитно-резонансная томография всего тела — техническая реализация и диагностические применения. *Альманах клинической медицины;* 2008: 17–1, 143–6.
- Cai W., Kassarjian A., Bredella M.A., et al. Tumor burden in patients with neurofibromatosis types 1 and 2 and schwannomatosis: determination on whole-body MR images. *Radiology.* 2009; 250: 665–73.
- Shivani Ahlawat, Laura M. Fayad, Muhammad Shayan Khan, Miriam A. Bredella, Gordon J. Harris, D. Gareth Evans, Said Farschtschi, Michael A. Jacobs, Avneesh Chhabra, Johannes M. Salamon, Ralph Wenzel, Victor F. Mautner, Eva Dombi, Wenli Cai, Scott R. Plotkin, Jaishri O Blakeley Current whole-body MRI applications in the neurofibromatosis NF1, NF2, and schwannomatosis. *Neurology.* 2016; 87(7 Suppl 1): S31–9.
- Михайлов А.И., Панов В.О., Тюрин И.Е. Оптимизация протокола магнитно-резонансной томографии всего тела для стадирования лимфомы Ходжкина. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2014; 6: 18–28.
- Frédéric E. Lecouvet, MD, PhD Whole-Body MR Imaging: Musculoskeletal Applications. *Radiology.* 2016; 279(2): 345–65.
- Sophie Guérin-Pfyffer, Séverine Guillaume-Czitrom, Sylvie Tammam, Isabelle Koné-Paut Evaluation of chronic recurrent multifocal osteitis in children by whole-body magnetic resonance imaging. *Joint Bone Spine.* 2012; 79: 616–20.
- Kennedy M.T., Murphy T., Murphy M., Laffan E., Connolly P. Whole body MRI in the diagnosis of chronic recurrent multifocal osteomyelitis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research.* 2012; 98: 461–4.
- Jan Fritz The Contributions of Whole-body Magnetic Resonance Imaging for the Diagnosis and Management of Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis. *The Journal of Rheumatology.* 2015; 42: 1359–60.
- Kalle T., Heim N., Hospach T., Langendörfer M., Winkler P., Stuber T. Typical Patterns of Bone Involvement in Whole-Body MRI of Patients with Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis (CRMO). *Fortschr Röntgenstr.* 2013; 185: 655–61.
- Jan Fritz, Nikolay Tzaribatchev, Claus D. Claussen, John A. Carrino, Marius S. Horger Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis: Comparison of Whole-Body MR Imaging with Radiography and Correlation with Clinical and Laboratory Data. *Radiology.* 2009; 252(3): 842–51.

26. Augusto G. Altoe, Clarissa Canella, Silvana M. Mendonca, Flavia M. Costa, Pedro H. Martins, Evandro Miguelote The Use of Whole-body MR Imaging in Rheumatic Diseases RSNA. Chicago; 2014.
27. Michael R. Aquino & Shirley M. L., Tse & Sumeet Gupta & Alisa C., Rachlis & Jennifer Stimec Whole-body MRI of juvenile spondyloarthritis: protocols and pictorial review of characteristic patterns. *Pediatr Radiol.* 2015; 45: 754–62.
28. Christian E. Althoff, Joachim Sieper, In-Ho Song, Hildrun Haibel, Anja Weiß, Torsten Diekhoff, Martin Rudwaleit, Bruce Freundlich, Bernd Hamm, Kay-Geert A Hermann Active inflammation and structural change in early active axial spondyloarthritis as detected by whole-body MRI. *Ann Rheum Dis.* 2013; 72: 967–73.
29. Ann-Kathrin Mager, Christian E. Althoff a, Joachim Sieperb, Bernd Hamma, Kay-Geert A. Hermann Role of whole-body magnetic resonance imaging in diagnosing early spondyloarthritis. *European Journal of Radiology.* 2009; 71: 182–8.
30. Ulrich Weber, Christian WA Pfirrmann, Rudolf O. Kissling, Juerg Hodler and Marco Zanetti Whole body MR imaging in ankylosing spondylitis: a descriptive pilot study in patients with suspected early and active confirmed ankylosing spondylitis. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2007; 8: 20.
31. Sabine Weckbach, Stefan Schewe, Henrik J. Michaely, Denise Steffinger, Maximilian F. Reiser, Christian Glaser Whole-body MR imaging in psoriatic arthritis: Additional value for therapeutic decision making. *European Journal of Radiology.* 2011; 77: 149–55.
32. Kamishima T., Fujieda Y., Atsumi T. et al. Contrast-enhanced whole-body joint MRI in patients with unclassified arthritis who develop early rheumatoid arthritis within 2 years: feasibility study and correlation with MRI findings of the hands. *AJR Am J Roentgenol.* 2010; 195: W287–92.
33. Mette Bjørndal Axelsen, Iris Eshed, Anne Duer-Jensen, Jakob M. Møller, Susanne Juhl Pedersen and Mikkel Østergaard Whole-body MRI assessment of disease activity and structural damage in rheumatoid arthritis: first step towards an MRI joint count. *Rheumatology.* 2014; 53: 845–53.
34. Arcuri P. P., Rocchia S., Raiola G., Cirillo M., Pingitore A., Fodero G.; Catanzaro/IT, Lamezia Terme/IT Juvenile idiopathic arthritis (JIA): whole-body MRI (WBMRI) approach in diagnosis and assessment of therapeutic efficacy.
35. Maria Beatrice Damasio, Francesca Magnaguagno, Giorgio Stagnaro Whole-body MRI: non-oncological applications in paediatrics. *Radiol Med.* 2016; 121(5): 454–61.
36. Martini A. Systemic juvenile idiopathic arthritis. *Autoimmun. Rev.* 2012; 12: 56–59.
37. Дроздова Е. А., Ядыкина Е. В. Клинические параллели течения увеита и артрита у пациентов с ювенильным идиопатическим артритом. *Вестник СМУС74.* 2014; 1–2: 41–4.
38. Баранов А. А., Алексеева Е. И., Бзарова Т. М., Валиева С.И., Денисова Р. В., Исаева К. Б., Карагулян Н. А., Литвицкий П. Ф., Митенко Е. В., Слепцова Т. В., Фетисова А. Н., Чистякова Е. Г., Тайбулатов Н. И., Морев С. Ю. Протокол ведения пациентов с ювенильным артритом. *Вопросы современной педиатрии.* 2013; 12: 37–56.
39. Траудт А. К., Завадовская В. Д., Огородова Л. М., Маевская З. А., Часовских Ю. П., Жогина Т. В., Кайлина А. Н. Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке состояния кистей у больных ювенильным идиопатическим артритом. *Бюллетень сибирской медицины.* 2012; 5: 72–9.
40. Ostendorf B., Scherer A., Mödder U., Schneider M. Diagnostic value of magnetic resonance imaging of the forefeet in early rheumatoid arthritis when findings on imaging of the metacarpophalangeal joints of the hands remain normal. *Arthritis Rheum.* 2004; 50: 2094–2102.
41. Hermann K.G., Bollow M. Magnetic resonance imaging of the axial skeleton in rheumatoid disease. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology.* 2004; 18(6): 881–907.
42. Walter Mak, MD, John C. Hunter, MD MRI for Earlier Diagnosis of Inflammatory Arthritis. *Published on Rheumatology Network;* 2009: 10.
43. Navallas M., Inarejos E.J., Iglesias E., Cho Lee G.Y., Rodríguez N., Antón J. MR Imaging of the Temporomandibular Joint in Juvenile Idiopathic Arthritis: Technique and Findings. *Radiographics.* 2017; 37(2): 595–612.
44. Marcos Duarte Guimarães, Julia Noschang, Sara Reis Teixeira, Marcel Koenigkam Santos, Henrique Manoel Lederman, Vivian Tostes, Vikas Kundra, Alex Dias Oliveira, Bruno Hochegger, Edson Marchiori Whole-body MRI in pediatric patients with cancer. *Cancer Imaging.* 2017; 17(1): 6.
45. Greer M.C. Whole-body magnetic resonance imaging: techniques and non-oncologic indications. *Pediatr Radiol.* 2018; 48: 1348–63.

REFERENCES

- Atkin K.L., Ditchfield M.R. The role of whole-body MRI in pediatric oncology. *J Pediatr Hematol Oncol.* 2014; 36: 342–52.
- Davis J.T., Kwatra N., Schooler G.R. Pediatric whole-body MRI: a review of current imaging techniques and clinical applications. *J Magn Reson Imaging.* 2016; 44: 783–93.
- Greer M.C., Voss S.D., States L.J. Pediatric cancer predisposition imaging: focus on whole-body MRI. *Clin Cancer Res.* 2017; 23: e6–e13.
- Chavhan G.B., Babyn P.S. Whole-body MR imaging in children: principles, technique, current applications, and future directions. *Radiographics.* 2011; 31: 1757–72.
- Attariwala R., Picker W. Whole body MRI: improved lesion detection and characterization with diffusion weighted techniques. *J Magn Reson Imaging.* 2013; 38: 253–68.
- Teixeira S.R., Elias Junior J., Nogueira-Barbosa M.H. et al. Whole-body magnetic resonance imaging in children: state of the art. *Radiol Bras.* 2015; 48: 111–120.
- Goo H.W. Whole-body MRI in children: current imaging techniques and clinical applications. *Korean J Radiol.* 2015; 16: 973–85.

8. Morone M., Bali M.A., Tunariu N. et al. Whole-body MRI: current applications in oncology. *AJR Am J Roentgenol.* 2017; 209: W336–W349.
9. Nievelstein R.A., Littooi A.S. Whole-body MRI in paediatric oncology. *Radiol Med.* 2016; 121: 442–53.
10. Alekseyeva E.I. Yuvenil'nyy idiopatcheskiy artrit: klinicheskaya kartina, diagnostika, lecheniye. [Juvenile idiopathic arthritis: clinical presentation, diagnosis, treatment]. *Voprosy sovremennoy pediatrii.* 2015; 14(1): 78–94. (in Russian).
11. Traudt A.K., Zavadovskaya V.D., Zhogina T.V., Fodorova E.I. Magnitno-rezonansnaya tomografiya v diagnostike yuvenil'nogo idiopatcheskogo artrita. [Magnetic resonance imaging in the diagnosis of juvenile idiopathic arthritis]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny.* 2015; 14(1): 110–9. (in Russian).
12. Rutger A. J. Nievelstein, Annemieke S. Littooi. Whole-body MRI in paediatric oncology, *La radiologia medica;* 2016: 442–53.
13. Punwani S., Taylor S.A., Bainbridge A. et al. Pediatric and adolescent lymphoma: comparison of whole-body STIR half-Fourier RARE MR imaging with an enhanced PET/CT reference for initial staging. *Radiology.* 2010; 255(1): 182–90.
14. Goo H.W., Yang D.H., Ra Y.S., Song J.S., Im H.J., Seo J.J., Ghim T., Moon H.N. Whole-body MRI of Langerhans cell histiocytosis: comparison with radiography and bone scintigraphy. *Pediatr Radiol.* 2006; 36: 1019–31.
15. Steinborn M., Wörtler K., Nathrath M., Schöniger M., Hahn H., Rummeny E.J. Whole-body MRI in children with Langerhans cell histiocytosis for the evaluation of the skeletal system. *RoFo.* 2008; 180: 646–53.
16. Anisimov N.V., Gulyayev M.V., Koretskaya S.V., Verkhoglazova E.V., Gerus M.A., Pirogov Yu.A. Magnitno-rezonansnaya tomografiya vsego tela — tekhnicheskaya realizatsiya i diagnosticheskiye primeneniya. [Magnetic resonance imaging of the whole body — technical implementation and diagnostic applications]. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny;* 2008: 17–1, 143–6. (in Russian).
17. Cai W., Kassarian A., Bredella M.A., et al. Tumor burden in patients with neurofibromatosis types 1 and 2 and schwannomatosis: determination on whole-body MR images. *Radiology.* 2009; 250: 665–73.
18. Shivani Ahlawat, Laura M. Fayad, Muhammad Shayan Khan, Miriam A. Bredella, Gordon J. Harris, D. Gareth Evans, Said Farschtschi, Michael A. Jacobs, Avneesh Chhabra, Johannes M. Salamon, Ralph Wenzel, Victor F. Mautner, Eva Dombi, Wenli Cai, Scott R. Plotkin, Jaishri O Blakeley Current whole-body MRI applications in the neurofibromatosis NF1, NF2, and schwannomatosis. *Neurology.* 2016; 87(7 Suppl 1): S31–9.
19. Mikhaylov A.I., Panov V.O., Tyurin I.E. Optimizatsiya protokola magnitno-rezonansnoy tomografii vsego tela dlya stadirovaniya limfomy Khodzhekina. [Optimization of the whole body magnetic resonance imaging protocol for staging Hodgkin's lymphoma]. *Vestnik rentgenologii i radiologii.* 2014; 6: 18–28. (in Russian).
20. Frédéric E. Lecouvet, MD, PhD Whole-Body MR Imaging: Musculoskeletal Applications. *Radiology.* 2016; 279(2): 345–65.
21. Sophie Guérin-Pfyffer, Séverine Guillaume-Czitrom, Sylvie Tammam, Isabelle Koné-Paut Evaluation of chronic recurrent multifocal osteitis in children by whole-body magnetic resonance imaging. *Joint Bone Spine.* 2012; 79: 616–20.
22. Kennedy M.T., Murphy T., Murphy M., Laffan E., Connolly P. Whole body MRI in the diagnosis of chronic recurrent multifocal osteomyelitis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research.* 2012; 98: 461–4.
23. Jan Fritz The Contributions of Whole-body Magnetic Resonance Imaging for the Diagnosis and Management of Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis. *The Journal of Rheumatology.* 2015; 42: 1359–60.
24. Kalle T., Heim N., Hospach T., Langendörfer M., Winkler P., Stuber T. Typical Patterns of Bone Involvement in Whole-Body MRI of Patients with Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis (CRMO). *Fortschr Röntgenstr.* 2013; 185: 655–61.
25. Jan Fritz, Nikolay Tzaribatchev, Claus D. Claussen, John A. Carrino, Marius S. Horger Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis: Comparison of Whole-Body MR Imaging with Radiography and Correlation with Clinical and Laboratory Data. *Radiology.* 2009; 252(3): 842–51.
26. Augusto G. Altoe, Clarissa Canella, Silvana M. Mendonca, Flavia M. Costa, Pedro H. Martins, Evandro Miguelote The Use of Whole-body MR Imaging in Rheumatic Diseases *RSNA.* Chicago; 2014.
27. Michael R. Aquino & Shirley M. L., Tse & Sumeet Gupta & Alisa C., Rachlis & Jennifer Stimec Whole-body MRI of juvenile spondyloarthritis: protocols and pictorial review of characteristic patterns. *Pediatr Radiol.* 2015; 45: 754–62.
28. Christian E. Althoff, Joachim Sieper, In-Ho Song, Hildrun Haibel, Anja Weiß, Torsten Diekhoff, Martin Rudwaleit, Bruce Freundlich, Bernd Hamm, Kay-Geert A Hermann Active inflammation and structural change in early active axial spondyloarthritis as detected by whole-body MRI. *Ann Rheum Dis.* 2013; 72: 967–73.
29. Ann-Kathrin Mager, Christian E. Althoff a, Joachim Sieper, Bernd Hamm, Kay-Geert A. Hermann Role of whole-body magnetic resonance imaging in diagnosing early spondyloarthritis. *European Journal of Radiology.* 2009; 71: 182–8.
30. Ulrich Weber, Christian WA Pfirrmann, Rudolf O. Kissling, Juerg Hodler and Marco Zanetti Whole body MR imaging in ankylosing spondylitis: a descriptive pilot study in patients with suspected early and active confirmed ankylosing spondylitis. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2007; 8: 20.
31. Sabine Weckbach, Stefan Schewe, Henrik J. Michaely, Denise Steffinger, Maximilian F. Reiser, Christian Glaser Whole-body MR imaging in psoriatic arthritis: Additional value for therapeutic decision making. *European Journal of Radiology.* 2011; 77: 149–55.
32. Kamishima T., Fujieda Y., Atsumi T. et al. Contrast-enhanced whole-body joint MRI in patients with unclassified arthritis who develop early rheumatoid arthritis within 2 years: feasibility study and correlation with MRI findings of the hands. *AJR Am J Roentgenol.* 2010; 195: W287–92.

33. Mette Bjørndal Axelsen, Iris Eshed, Anne Duer-Jensen, Jakob M. Møller, Susanne Juhl Pedersen and Mikkel Østergaard Whole-body MRI assessment of disease activity and structural damage in rheumatoid arthritis: first step towards an MRI joint count. *Rheumatology*. 2014; 53: 845–53.
34. Arcuri P. P., Roccia S., Raiola G., Cirillo M., Pingitore A., Fodero G.; Catanzaro/IT, Lamezia Terme/IT Juvenile idiopathic arthritis (JIA): whole-body MRI (WBMRI) approach in diagnosis and assessment of therapeutic efficacy.
35. Maria Beatrice Damasio, Francesca Magnaguagno, Giorgio Stagnaro Whole-body MRI: non-oncological applications in paediatrics. *Radiol Med*. 2016; 121(5): 454–61.
36. Martini A. Systemic juvenile idiopathic arthritis. *Autoimmun. Rev*. 2012; 12: 56–59.
37. Drozdova E. A., Yadykina E. V. Klinicheskiye paralleli tekheniya uveita i artrita u patsiyentov s yuvenil'nyim idiopaticheskim artritom. [Clinical parallels in the course of uveitis and arthritis in patients with juvenile idiopathic arthritis]. *Vestnik SMUS74*. 2014; 1–2: 41–4. (in Russian).
38. Baranov A. A., Alekseyeva E. I., Bzarova T. M., Valiyeva S. I., Denisova R. V., Isayeva K. B., Karagulyan N. A., Litvitskiy P. F., Mitenko E. V., Sleptsova T. V., Fetisova A. N., Chistyakova E. G., Taybulatov N. I., Morev S. Yu. Protokol vedeniya patsiyentov s yuvenil'nyim artritom. [Protocol for the management of patients with juvenile arthritis]. *Voprosy sovremennoy pediatrii*. 2013; 12: 37–56. (in Russian).
39. Traudt A. K., Zavadovskaya V. D., Ogorodova L. M., Mayevskaya Z. A., Chasovskikh Yu. P., Zhogina T. V., Kaylina A. N. Vozmozhnosti magnitno-rezonansnoy tomografii v otsenke sostoyaniya kistei u bol'nykh yuvenil'nyim idiopaticheskim artritom. [Magnetic resonance imaging capabilities for assessing the condition of the hands in patients with juvenile idiopathic arthritis]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*. 2012; 5: 72–9. (in Russian).
40. Ostendorf B., Scherer A., Mödder U., Schneider M. Diagnostic value of magnetic resonance imaging of the forefeet in early rheumatoid arthritis when findings on imaging of the metacarpophalangeal joints of the hands remain normal. *Arthritis Rheum*. 2004; 50: 2094–2102.
41. Hermann K.G., Bollow M. Magnetic resonance imaging of the axial skeleton in rheumatoid disease. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*. 2004; 18(6): 881–907.
42. Walter Mak, MD, John C. Hunter, MD MRI for Earlier Diagnosis of Inflammatory Arthritis. Published on Rheumatology Network; 2009: 10.
43. Navallas M., Inarejos E.J., Iglesias E., Cho Lee G.Y., Rodríguez N., Antón J. MR Imaging of the Temporomandibular Joint in Juvenile Idiopathic Arthritis: Technique and Findings. *Radiographics*. 2017; 37(2): 595–612.
44. Marcos Duarte Guimarães, Julia Noschang, Sara Reis Teixeira, Marcel Koenigkam Santos, Henrique Manoel Lederman, Vivian Tostes, Vikas Kundra, Alex Dias Oliveira, Bruno Hochhegger, Edson Marchiori Whole-body MRI in pediatric patients with cancer. *Cancer Imaging*. 2017; 17(1): 6.
45. Greer M.C. Whole-body magnetic resonance imaging: techniques and non-oncologic indications. *Pediatr Radiol*. 2018; 48: 1348–63.