

Использование МР-томографии для оценки лимфатической системы

А. Ю. Летягин, А. А. Тулупов, А. А. Савелов, М. В. Автаева,
А. М. Коростышевская, К. Н. Сорокина

Международный томографический центр СО РАН;
Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Введение

В связи с высоким уровнем гематологической и онкологической заболеваемости представляет большой интерес разработка новых диагностических методов исследования лимфатической системы человека. В литературе описывается несколько классификаций методов лимфодиагностики, но отсутствует единая и полная, которая включала бы в себя новейшие разработки в области диагностики и могла бы служить цели адекватного подбора диагностических приёмов при обследовании пациентов с той или иной патологией лимфатической системы. В НИИ клинической и экспериментальной лимфологии СО РАМН (Новосибирск) была разработана классификация [1], которая наиболее полно отображает арсенал диагностических методов, используемых в настоящее время для оценки морфологического и функционального состояния лимфатической системы, и является наиболее удобной для врачей практической медицины:

I. Методы оценки лимфодинамики

1. Прямые:

- контрастные методы;
- радиоизотопное исследование;
- канюляционные методы;
- эндолимфатическая тонометрия;

- реографические методы;
- #### 2. Косвенные:
- антропометрические методы;
 - эластография;
 - дистантная термография;
 - электропунктурная диагностика
- по Р. Фоллю;
- томографические методы;
 - ультрасонография мягких тканей;
 - импедансометрические методы;
 - цифровая рентгенография;
 - плетизмография;
 - другие методы.
- ### II. Методы исследования лимфы:
- исследование биохимического состава лимфы;
 - цитоморфологические исследования;
 - иммунолимфологические тесты.
- ### III. Методы исследования лимфоузлов:
- методы изучения моторной функции лимфоузла;
 - цитологические методы;
 - гистологические методы;
 - контрастные методы;
 - томографические методы;
 - ультрасонография;
 - другие методы.

Томографические методы диагностики, применяемые при исследовании лимфатической системы, можно разделить на два направления: оценка вторичных нарушений при блоке лимфотока и оценка состояния лимфатических узлов (ЛУ). Компьютерная (рентгеновская) томография (РКТ) позволяет оценивать

© Коллектив авторов, 2005.

Статья поступила 16.09.2005 г.

• методы оценки состояния лимфангиона;

состояние мягких тканей конечности путём получения аксиальных (поперечных) срезов конечностей. Шкала Хаунсфильда позволяет идентифицировать ткани, оценить их плотностные характеристики.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) полностью повторяет возможности компьютерной томографии, но бесспорным преимуществом МРТ является то, что изображения тканей можно получать в различных плоскостях (в том числе и в неортогональных), манипулируя ориентацией градиентов магнитного поля.

Кроме того, по сравнению с РКТ, МР-томография даёт более чёткую и детализированную картину (отсутствует эффект визуального слияния структур и тканей близких по плотности) и позволяет распознавать и оценивать степень и распространённость патологических изменений, поскольку основу МР-сигнала составляет именно сигнал от ядер водорода, основная масса которых в организме человека содержится в молекулах воды и жира. Чувствительность и специфичность магнитно-резонансной томографии превосходит такие современные методы диагностики, как РКТ и ультразвуковое исследование (УЗИ) [2—6]. Кроме того, в сравнении с РКТ, важное преимущество МРТ — в отсутствии лучевой нагрузки [7, 8]. В отличие от УЗИ качество получаемых изображений на МР-томографе не зависит от оператора, в меньшей степени зависит от позиции пациента, выраженности подкожной жировой клетчатки, состояния кишечника; отсутствует проблема звукового окна [8].

МРТ является достаточно достоверным и точным (с метрической точки зрения) анатомическим методом. При этом неинвазивная визуализация глубокорасположенных лимфоузлов возможна только с помощью МРТ и РКТ, а поверхностные можно визуализировать также с помощью УЗИ. Малые размеры лимфатических узлов (увеличение более 10 мм

расценивается как лимфоаденопатия) и движение их вместе с окружающими тканями (висцеральные лимфоузлы брюшной полости) затрудняет их изучение.

МРТ, как методика визуализации лимфатической системы и, в частности, лимфатических узлов, имеет большие возможности. С помощью МРТ можно отличить фиброз в лимфатических узлах от воспаления или опухоли [4]. Кроме того, МРТ исследование позволяет достаточно эффективно оценить состояние лимфатической системы всего организма — визуализировать лимфатические узлы и крупные лимфатические коллекторы, оценить уровень содержания жидкости в тканях, что в конечном плане характеризует состояние лимфодренажной функции [9]. Таким образом, МРТ лимфатической системы позволяет не только визуализировать лимфатические узлы, но помогает в планировании лечения и оценке прогноза при определении стадии процесса, особенно метастатического или воспалительного.

На сегодняшний день иностранными, а последние несколько лет и российскими, учёными уже разработаны некоторые МРТ-критерии оценки лимфатической системы, особенно грудной и брюшной полостей. Причём эти критерии в основном разработаны для визуализации метастатических процессов в них, а МРТ-признаки неизмененных лимфатических узлов не достаточно конкретизированы. Однако, для диагностики заболеваний на МР-томографе важно отличать норму от патологии, поэтому нужно знать особенности прижизненной анатомии: размеры органов, тканевые характеристики.

При исследовании лимфатической системы и, в частности, ЛУ в основном используют T1-взвешенные изображения (ВИ), поскольку ЛУ хорошо контрастируются в этих условиях от окружающей жировой ткани за счёт разницы релаксационных характеристик (МР-сигнал

от лимфоузлов на T1-ВИ оказывается ниже, чем от окружающей жировой ткани). За счёт одинакового времени T2-релаксации ЛУ и жировой ткани их не всегда можно различить на T2-ВИ [4]. Рыхлая соединительная ткань выглядит на T1- и T2-взвешенных томограммах структурой со средним МР-сигналом, при развитии диффузного фиброзирования сигнал заметно снижается (на T1- и T2-взвешенных томограммах до тёмно-серого, почти чёрного), при развитии очагового фиброза визуализируются патологические линейные структуры: спайки, рубцы. При развитии отека лимфоузла с накоплением жидкости (лимфы) сигнал на T1-ВИ снижается, а на T2-ВИ — повышается. Жировая ткань выглядит на T1- и T2-томограммах структурой с очень высоким МР-сигналом (служит своеобразным фоном для вышеперечисленных изменений).

При исследовании лимфатической системы применяют и специальные методики, являющиеся производными от общепринятых импульсных последовательностей. К ним относятся методы быстрой съёмки (RARE-T1, Turbo-RARE), которые позволяют значительно сократить время исследования, а также метод визуализации неподвижной или медленно текущей жидкости в статическом (MYUR) и кино-режимах (cinemyur).

Нормальная и патологическая анатомия ЛУ по данным МРТ

ЛУ, локализованные в области головы и клеточных пространствах шеи. В области головы и шеи находится большое число органов, принадлежащих разным системам: органы чувств, начальные отделы пищеварительной трубки и дыхательных путей, некоторые эндокринные железы, а также крупные кровеносные сосуды и нервы. Здесь же располагаются многочисленные лимфатические узлы, которые, как правило, по-

ражаются (увеличиваясь при этом в размерах) при воспалительных или опухолевых заболеваниях указанных органов.

По данным МРТ-исследования области шеи не все классификационные группы ЛУ могут быть визуализированы. Среди нормальных (неизменённых) ЛУ чаще всего обнаруживаются затылочные, подбородочные, поверхностные и глубокие шейные. Опухоль и ЛУ выделяются как структуры со слабым МР-сигналом [10].

Лучшее изображение ткани получается при применении короткого TR (repetition time, время повторения — время между повторениями электромагнитных импульсов) и короткого TE (time echo, время эхо — убывающий сигнал при возвращении ядер на исходный энергетический уровень) спин-эхо T1-ВИ, но это не позволяет разделить сигнал от ЛУ и мышечной ткани, так как обе эти ткани имеют относительно длительное время восстановления. Поэтому дополнительное T2-ВИ особенно ценно, так как мышечная ткань имеет более слабый сигнал на T2, в отличие от ЛУ. T1-ВИ так же позволяет дифференцировать ЛУ, расположенные в жировой ткани близ яремной вены и сухожилия двубрюшной мышцы.

Существуют одинаковые критерии обнаружения патологически поражённых ЛУ на МРТ и КТ. Как T1-ВИ, так и T2-ВИ позволяют увидеть нормальные ЛУ, которые меньше 10 мм в диаметре и патологические ЛУ, которые больше, чем 15 мм в диаметре [10]. Но можно получить и ложно-положительные результаты при измерении ЛУ: при карциноме области головы и шеи метастатические ЛУ могут быть в диаметре менее 10 мм [11].

При поражении щитовидной и паращитовидных желез ЛУ должны в диаметре превышать 10 мм и иметь гипоинтенсивный сигнал на T1-ВИ и одновременно гиперинтенсивный на T2-ВИ либо гиперинтенсивный сигнал на

T1-ВИ и T2-ВИ. Метастатическим можно считать конгломерат ЛУ, состоящий из трёх и более единиц [12, 13]. По сведениям других авторов, критерием метастазов карциномы щитовидной железы в ЛУ является диаметр узлов более 8 мм и гиперинтенсивный сигнал на T2-ВИ с центральным некрозом узла [14].

При МРТ могут возникнуть сложности в дифференциации увеличенных паращитовидных желез и подкапсульно расположенных ЛУ щитовидных желез [13].

Заглочные лимфатические узлы при назофарингиальной карциноме оцениваются как нормальные при диаметре более 4 мм [15].

ЛУ, локализованные в средостении, грудной полости и аксиллярной области. МРТ не является основным методом диагностики заболеваний органов грудной клетки и средостения, однако её применение позволяет решать сложнейшие диагностические задачи, и одновременно этот метод наиболее безопасный и неинвазивный. С помощью МРТ можно получать изображения в любой проекции.

Для выявления лимфопролиферативных процессов, когда необходимо уточнить расположение увеличенных ЛУ и их топографию, оптимальной проекцией является фронтальная, которая дополняется аксиальной. Импульсная последовательность градиент-эхо с компенсацией по кровотоку позволяет дифференцировать увеличенные ЛУ и крупные сосуды, имеющие повышенный МР-сигнал от кровотока. Изображения с использованием сердечной синхронизации улучшают качество МР-томограмм. Быстрая последовательность спин-эхо (короткий TR и TE) наиболее эффективна, но не компенсирует размытость изображения при движениях [10]. На полученных изображениях оценивается характер МР-сигнала от структуры ЛУ, их размеры, форма, локализация, характер контуров, взаимоотношение между соседними ЛУ и органами грудной клетки, а также

вовлечённость последних в патологический процесс [16].

При оценке МР-томограмм грудной полости, полученных в режимах T1-ВИ и T2-ВИ, неизменённые ЛУ выглядят как образования менее 15 мм среднеинтенсивного сигнала. Среднеинтенсивный сигнал от них по T1-ВИ и T2-ВИ делает их хорошо различимыми на фоне жировой клетчатки средостения, имеющей высокоинтенсивный сигнал по T1-ВИ [17, 18]. Лучше оценивать состояние ЛУ в субкардиальной области и аортопульмональном окне на МР-томограммах, чем на КТ [2]. Этому способствует использование дополнительных проекций: фронтальной и сагитальной, и более высокая дифференцировка их вдоль крупных сосудов [3, 17, 18].

Другие авторы предлагают свои критерии размеров: ЛУ в диаметре меньше 10 мм классифицируются как нормальные, ЛУ от 10 до 20 мм как подозрительные, а более 20 мм как аномальные. У пациентов с малым количеством средостенного жира заметны узлы маленького размера, которые нельзя недооценивать. Поэтому небольшие ЛУ классифицируются как нормальные только тогда, когда рядом расположены хотя бы два ЛУ нормального размера [10].

Лимфоузлы достаточно чётко визуализируются на фоне клетчатки средостения, доступны для линейного измерения (на T1-ВИ). При неспецифических воспалительных заболеваниях бронхолегочной системы и при хроническом бронхите курильщика лимфатические узлы средостения несколько увеличены в размерах, а клетчатка средостения — отёчна.

Микрометастазы при раке молочной железы на МРТ оцениваются при размере ЛУ более 10 мм [19].

Критерием патологически изменённых прикорневых ЛУ служит диаметр их более 18 мм [20].

При оценке ЛУ грудной полости пищевод может быть принят за увеличенный ретротрахеальный ЛУ, если не будут изучены последовательные снимки. Также МРТ не может обнаружить кальцинаты в ЛУ, маленькие, близко расположенные узлы могут казаться одним при МРТ (в отличие от КТ), а маленькие узелки в лёгких могут быть не обнаружены из-за дыхательных движений и общего усреднения данных [21].

При МРТ-исследовании молочной железы размеры нормальных подмышечных ЛУ варьируют от 1 до 10 мм [22].

Обнаружение ЛУ размерами более 5 мм в диаметре или их слияние между собой более специфично для опухолевого роста [23, 24]. Но лишь наличие таких симптомов как некроз, инвазия смежных тканей и выявление группы поражённых ЛУ диаметром более 10 мм позволяют с достаточной уверенностью говорить о злокачественном характере поражения [25, 26].

Оптимальные радиологические критерии аксиллярных ЛУ это T1-ВИ в сагиттальной и фронтальной проекциях и нормальный диаметр их менее 10 мм. Но ЛУ с диаметром менее 10 мм могут быть как метастатическими, так и нормальными, что ограничивает применение МРТ исследования для диагностики метастазов в аксиллярной области [27].

ЛУ, локализованные в брюшной полости. При МРТ-исследовании брюшной полости нормальные ЛУ имеют однородный МР-сигнал. При T1-ВИ интенсивность сигнала от ЛУ немного выше, чем от подвздошно-поясничной мышцы и ножек диафрагмы и намного ниже, чем интенсивность от жировой ткани. На T2-ВИ ЛУ легче отличить от мышцы или ножек диафрагмы, но может возникать трудность в дифференцировке от забрюшин-

ного жира, так как у них схожие по интенсивности сигналы. У пациентов с небольшим количеством забрюшинной клетчатки невозможно отличить петли кишечника от ЛУ [10].

Максимальный диаметр нормальных неизмененных желудочных ЛУ — 6 мм, высоких левых поясничных, правых поясничных и межаортокавадных — 3 мм, позадикавадных — 4 мм, низких левых поясничных — 5 мм [28].

Околопечёночные ЛУ при хроническом вирусном гепатите С на МР-томограммах имеют размер более 5 мм [29], а при гепатобилиарном раке ЛУ более 15 мм считаются метастатически поражёнными [30].

Основным критерием изменения ЛУ является увеличение их размеров. Критерием оценки метастатически изменённого ЛУ служит их диаметр свыше 8 мм. Более чувствительными при оценке изменённых ЛУ являются T1-ВИ, на которых поражённые ЛУ представлены отдельными образованиями округлой или овальной формы, или в виде конгломератов, имеющих низкую интенсивность сигнала на фоне высокого сигнала от жировой клетчатки [31—33].

Неизменёнными поясничными ЛУ являются узлы менее 10 мм в диаметре, но нельзя исключить микрометастазы в лимфатические узлы при их диаметре от 4 до 9 мм [34, 35]. По другим источникам, подозрительными, но не патологическими, являются ЛУ до 15 мм [5, 36].

ЛУ локализованные в паховой области и полости малого таза. При МРТ оценке нормальных тазовых ЛУ следует учитывать, что максимальный диаметр общих подвздошных ЛУ 4 мм, наружных и внутренних подвздошных — 5 мм [28].

Нормальная анатомия паховых ЛУ: 3—10 мм для проксимальных поверхностных, 3—15 мм — для дистальных поверхностных, 3—10 мм — для глубоких паховых. Корреляции не выявлено

между возрастом, полом и числом ЛУ. Максимальное количество ЛУ в аксиальной проекции до 6, во фронтальной проекции — до 5. Максимальный диаметр 15 мм [37]. Знание этих параметров может улучшить чувствительность МР-исследования для обнаружения метастазов в ЛУ.

T1-ВИ во фронтальной проекции применяется в основном для поиска увеличенных ЛУ. От кровеносных сосудов ЛУ отличаются благодаря присущему сосудам «феномену потока». Увеличенные более 10 мм ЛУ с нечёткими контурами располагаются в основном по ходу глубоких подвздошных сосудов [36, 38—40]. Гиперплазия ЛУ по ходу глубоких подвздошных сосудов сочетается с усилением сосудистого компонента мочепузырного венозного сплетения, которое хорошо визуализируется во фронтальной проекции на T1-ВИ [41].

По данным одних авторов параректальные ЛУ более 5 мм оцениваются как изменённые [42, 43], а других исследователей — от 6 до 10 мм [44, 45].

Для оценки метастазов в ЛУ при раке прямой кишки на МР-томограммах основным критерием является размер узла более 10 мм, хотя размеры в пределах от 5 до 10 мм являются также подозрительными [46].

При объёмных образованиях тазовой области максимальный диаметр овальных и круглых ЛУ в аксиальной проекции более 10 мм на стороне поражения и более 5 мм на противоположной. Нормальные, не метастатические асимметричные ЛУ представлены лишь в 5 % случаев. Эти результаты коррелируют с результатами, полученными на постоперационном материале [6].

Возможности исследования лимфатической системы с помощью Gd-содержащих препаратов

Особая ситуация возникает при непосредственном лимфотропном введении смеси из лидазы и Gd-содержащего препарата: линейные структуры визуализируются весьма чётко на T1- и T2-томограммах: на T2-ВИ — за счёт свободной жидкости, на T1-ВИ — за счёт Gd-содержащего контрастного средства. Анатомический субстрат этих линейных структур — лимфатические сосуды. Важность их обнаружения и оценка объёма массопереноса по ним подтверждается необходимостью лигировать все структуры, похожие на лимфатические сосуды, при операциях на позвоночнике, чтобы уменьшить риск возникновения лимфатических фистул [47].

Кроме того, на томограммах можно «проследить», как все обнаруженные лимфатические сосуды «заканчиваются» в лимфатических узлах. Последние, в свою очередь, также изменяют характеристики МР-сигнала под действием такого композитного контрастирования: содержимое сосудов (жидкость и Gd-контраст) визуализируется в периферической зоне лимфоузлов, по проекции краевого и воротного синусов, чётко по контуру лимфоидной ткани (паренхимы) лимфоузла.

Регионарные лимфатические узлы и лимфатические сосуды контрастируются после интратканевой (инфильтрирующей) инъекции Gd-содержащего препарата (обычно в дозе 5—10 мкмоль/кг с экспозицией 10—120 минут после введения [48, 49]). Из МРТ-последовательностей использовались быстрые 3D. При такой интерстициальной лимфографии (в тыл стопы) у кроликов на 5—15 минуте отмечался максимум контрастирования подколенных лимфоузлов, на 15—30 минуте — паховых, на

30—60 минуте — подвздошно-парааортальных лимфоузлов [50].

Проведено исследование распространения Gd-содержащего препарата омнискан, введённого в толщу межкостистой связки поясничного отдела позвоночника в составе межкостистой лимфотропной лимфостимулирующей инъекции [51]. Показано распространение его вверх и вниз на 2—3 сегмента с неглубоким радиарным проникновением в толщу близрасположенных мышечно-фасциальных массивов и по ходу сегментарных сосудисто-нервных пучков кпереди от позвоночного столба. Далее препарат локализовался предverteбрально в проекции регионарных лимфатических узлов, расположенных на предпозвоночной фасции, затем определялся в грудном протоке. Прохождение водорастворимого контрастного препарата по этому пути осуществлялось в течение одного часа, а в случае лимфедемы правой нижней конечности его распространение происходило преимущественно со стороны наиболее сохранной дренажной системы, что коррелирует с темпом развития, длительностью и выраженностью лечебных эффектов медицинских препаратов, вводимых в составе межкостистой лимфотропной лимфостимулирующей инъекции.

Известно, что контрастно усиленное МРТ-исследование ЛУ при раке молочной железы позволяет получить высокую чувствительность, специфичность и достоверность исследования (чувствительность — 83 %, специфичность — 90 %, точность — 88 %) [52].

Применение интерстициального введения контрастного вещества также может быть эффективно при стадийной диагностике ректального рака. Высокая точность метода позволяет, опираясь на объективные данные, составить обоснованный план лечения. Применение парамагнитного контраста при интерстициальном введении позволяет в 1,5 раза увеличить чувствительность метода при оценке состояния лимфатиче-

ских узлов таза. При этом контраст выводится из интерстиция по лимфатическим путям и накапливается структурами лимфатических узлов (синусной системой, лимфоидной тканью), при этом контрастируется их внутренняя структура, в том числе синусная система лимфатического узла, что позволяет выявить ранние патологические изменения в них [53, 54].

Дальнейшее развитие применения контрастных средств должно учитывать тот факт, что скорость проникновения микрочастиц от 2—3 до 100—200 нм по лимфатическим сосудам — медленная, но массивная, по венозным сосудам, наоборот, малыми объёмами, но с высокой скоростью, при этом на периферическом уровне доказано обширное сообщение лимфатических и венозных сосудов, когда при эндолимфатическом введении частицы уже через считанные секунды оказываются в венозной крови [55].

В целом, применение Gd-содержащих контрастных препаратов (типа омнискан) можно признать весьма эффективным инструментом визуализации анатомических особенностей строения и, с другой стороны, способом оценки индивидуальных транспортных способностей регионарного лимфатического русла.

Возможности МРТ в визуализации лимфоаденопатии

МРТ позволяет выделить гиперпластическую лимфоаденопатию как наиболее частое и опасное осложнение онкологического процесса. Трудность диагностики этой ситуации заключается в наличии стадийности метастатического процесса [54]. На *начальных стадиях* метастазирования такая лимфоаденопатия ничем не отличается от лимфоаденопатии отечного типа как проявления отечной реакции на инвазию умеренного количества метастатических клеток: при этом визуализируются расширенные лимфатические коллекторы и периноду-

лярный отек. Позднее, на *стадии пролиферации метастаза*, в лимфатическом узле происходит «блокирование» лимфотока через узел (это легко диагностируется при использовании интерстициальной лимфографии с Gd-содержащим препаратом типа омнискан). Блок лимфотока на уровне лимфоузла обусловлен субтотальным замещением паренхимы органа метастатической тканью. Это замещение, с другой стороны, приводит к снижению отечных проявлений (с затуханием воспалительного процесса): ЛУ при этом на T1- и на T2-взвешенных изображениях имеют нормальные размеры (как правило, не более 10—12 мм), но по МР-сигналу могут быть весьма полиморфными (в зависимости от МР-характеристик метастатической ткани), либо вовсе не отличаться от нормы. Как правило, форма и контуры в этой ситуации изменяются (узлы приобретают ярко выраженную сферичность), либо остаются аналогичными нормальным органам. В *поздней стадии* изменения лимфоузлов носят более отчетливый характер (увеличение размеров более 10—15 мм с формированием пакетов лимфоузлов). Здесь, как правило, нет отечности самих лимфоузлов, но выявляется «блок» лимфотока через орган и весьма выражено расширение лимфатических коллекторов (при интерстициальном Gd-контрастировании визуализируются скопления препарата в зоне введения в течение нескольких часов, с минимальным контрастированием ЛУ, без накопления в мочевыводящих путях).

МРТ позволяет выделить *гипертрофическую лимфоаденопатию* (с увеличением количества клеточных элементов собственно лимфоидной ткани) как при гематологических поражениях, так и при реактивных изменениях по типу продуктивного лимфаденита. К сожалению, этот вариант имеет МР-параметры (на T1-ВИ и T2-ВИ), весьма похожие

на стадию пролиферации метастаза при гиперпластической лимфоаденопатии. ЛУ при этом на T1-ВИ и T2-ВИ имеют увеличенные размеры (как правило, более 10—15 мм), но по МР-сигналу не отличаются от нормы. Как правило, форма и контуры в этой ситуации также остаются аналогичными нормальным органам. При использовании Gd-интерстициальной лимфографии в этой ситуации визуализируется достаточная эвакуация препарата по коллекторам и через ЛУ (с исчезновением препарата в зоне введения через 1—1,5 часа после введения, признаками «тотального» (на 15—40-й минуте) или «краевого» (через 1—1,5 часа) контрастирования регионарных лимфоузлов).

Можно диагностировать *лимфоаденопатию отёчного генеза* с накоплением свободной жидкости в лимфатических узлах: на T2-взвешенных МРТ-изображениях такие ЛУ имеют высокий МР-сигнал (выглядят как яркие, сферической формы «пуговики» на фоне жировой, соединительной ткани и мышц), а на T1-ВИ в этой ситуации лимфатические узлы имеют низкий МР-сигнал (тёмные на фоне яркой жировой и светло-серой рыхлой соединительной ткани). При использовании методики МР-уромиелографии эти лимфатические узлы регистрируются как мелкие сферические скопления жидкости. Начальные стадии отека лимфоузла выглядят как полулунные или кольцеобразные «венчики» в зоне субкапсулярного синуса. При Gd-интерстициальной лимфографии визуализируются признаки ускоренной эвакуации препарата по коллекторам и через лимфатические узлы: через 30—40 минут препарат «вымывается» из тканей и через почечную фильтрацию оказывается в мочевых путях и мочевом пузыре, где хорошо визуализируется на T1-ВИ.

Возможно диагностирование также *лимфоаденопатии преимущественно соединительно-тканного генеза* (склерозирование). При этом на T1- и T2-взве-

шенных МРТ-изображениях) МР-сигнал от ЛУ низкий: в обоих случаях органы выглядят резко тёмными, почти чёрными «пятнами» на фоне жировой клетчатки. При этом форма и контуры ЛУ имеют изменения (по типу «минус»-дефектов). При интерстициальном Gd-контрастировании визуализируются скопления препарата в зоне введения в течение нескольких часов с минимальным контрастированием лимфоузлов и лимфатических коллекторов.

МРТ-методы исследования лимфодинамики

Диагностика транспортной функции лимфатической системы основана на особенностях визуализации свободной жидкости. Жидкость в виде свободной воды с незначительной «примесью» электролитов и биохимических компонентов с невысокой молекулярной массой (моносахара, пептиды, углеводы) присутствует в следующих системах:

- лимфатическая система (лимфа);
- субарахноидальное (ликворное) пространство ЦНС (цереброспинальная жидкость, ликвор);
- выделительная система: чашечно-лоханочная система почек, мочеточники, мочевого пузыря (моча);
- жёлчевыводящие пути: внутрипечёночные и внепечёночные жёлчные протоки (жёлчь).
- Помимо этого, жидкость можно также визуализировать:
 - в желудке и кишечнике;
 - в придаточных пазухах носа (при патологии верхних дыхательных путей);
 - в плевральной полости (при патологии);
 - в перитонеальной полости (при патологии);
 - в полости сустава (при патологии);

- в соединительной (и жировой) ткани (отек при патологических ситуациях).

Применение методики MYUR (МР-уромиелография) на МР-томографе Tomikon S50 фирмы «Bruker» позволяет абсолютно неинвазивно и без введения контрастного средства визуализировать полости, содержащие неподвижную или медленно текущую жидкость, исключая сигнал от мягких тканей.

Движение любой жидкости по трубчатой системе происходит только посредством перистальтического механизма: при этом имеются несколько важных моментов, известных в физиологии, патологии и биоритмологии:

- стенка полого органа выполняет роль активного «движителя—насоса»;
- перистальтические движения выполняются в определённом ритме (функциональные ритмы) с определённой частотой (от 0,001 до 10 Гц);
- ритм задают центры-пейсмейкеры, расположенные, как правило, в подслизистой и мышечной оболочках полого органа;
- при патологии (гипоксия, инфаркт, склерозирование и др.) поражаются центры-пейсмейкеры;
- при нарушении двигательной ритмичной активности происходит поражение функции переноса жидкости, а трубчатый орган дилатируется (расширяется просвет) до образования кистозных полостей.

В клинике часто приходится решать вопрос о том, что имеется у пациента: переходное состояние (начало дилатации) или сформированная кистозная полость (с атонией и поражением пейсмейкеров).

Имеется необходимость изучить динамику перистальтического движения свободной жидкости по полым биоструктурам: жёлчевыводящим, мочевыводящим путям [56], лимфатическим сосудам, субарахноидальному про-

странству [57—59]. Именно для визуализации этих процессов и была задумана методика кино-MYUR (cine-MYUR), разработанная и реализованная в Международном томографическом центре СО РАН (Новосибирск), выполняемая с периодичностью одно изображение в 10 секунд, что позволяет отследить динамику продвижения жидкости по трубчатым органам (перистальтику). Таким образом, можно оценивать параметры физиологических ритмов перистальтирования полых (трубчатых) органов в диапазоне от 0,07 до 0,006 Гц (период от 15 секунд до 3 минут) для системы на 0,5 Тл [60]. Кино-MYUR — новая модификация известной МРТ-технологии, которая позволяет контрастировать только объекты с очень длинным T2 временем релаксации: цереброспинальная жидкость, лимфа, моча, жёлчь, жидкостной компонент кишечного содержимого и динамику их количества и местонахождения.

В соответствии с этим, методика кино-MYUR имеет основные приложения:

- МР-кинолимфография;
- МР-киномиелография;
- МР-киноурография;
- МР-киноцистография;
- МР-кинохолангиография.

Кино-MYUR как клинико-диагностическая методика имеет преимущества:

1) Отсутствие инвазивных процедур (без введения контрастного средства);

2) Отсутствие ионизирующего излучения;

3) Высокая чувствительность и специфичность;

4) Прямая оценка двигательной активности трубчатых биоструктур;

5) Обеспечение прямой оценки параметров физиологических ритмов перистальтирования полых (трубчатых) органов. При этом возможно анализировать состояние нижней границы диапазона функциональных ритмов (0,001—10 Гц), наиболее часто поражаемой в патологических ситуациях.

Нами в последние годы активно ведётся развитие МР-лимфографии на основе методик MYUR (МР-уромиеелография) и кино-MYUR. Цель лимфографии: контрастировать регионарные лимфатические узлы, лимфатические сосуды и лимфатические коллекторы.

Принципиально то, что лимфатические пути в норме имеют «дискретную» кинетику содержимого по типу перистальтики. Вполне понятно, что на статичных снимках визуализируются только «фрагменты» этих образований и только в патологических ситуациях одномоментно можно визуализировать всё протяжении грудного лимфатического протока. Визуализация перистальтики лимфотока в нормальных ситуациях возможна только с помощью кино-технологии в режиме реального времени. Оцифровка этих процессов показала, что чем выше объём лимфотока, тем выше амплитуда сокращений, хотя частота их сокращений сохраняется достаточно стабильной.

В настоящее время методика кино-MYUR в режиме МР-лимфографии позволяет визуализировать грудной лимфатический проток на всём протяжении в режиме реального времени. Кино-MР-лимфография у пациентов с воспалительными процессами различного рода (некротический очаг во 2-м сегменте правого лёгкого, септический процесс, обострение грудного и поясничного остеохондроза) выявляет резкое усиление лимфотока по ductus thoracicus и расширение cystema chyli.

Применение этой методики (вкупе с «классическими» МРТ-методиками) у пациентов с лимфедемой конечностей позволяет уточнить уровень «блока» лимфотока, состояние регионарных лимфатических узлов и сосудов: становятся видны расширенные лимфатические коллекторы и накопление жидкости в регионарных лимфатических узлах.

При лимфедеме нижних конечностей регистрируется снижение объёма лимфотока в поясничной области со стороны более поражённой конечности. Для ранних стадий лимфедемы характерны маловыраженные изменения. Это утолщение кожи и подкожной клетчатки, небольшая разница в площади поперечного сечения здоровой и поражённой конечности. Чётко определяется фиброз (концентрический или смешанный), идущий от фасции. При наличии выраженного фиброза визуализируется картина «ячеистого» типа с незначительным количеством жидкости. В некоторых случаях удаётся выявить субфасциальный локальный отек. При поздних стадиях (III—IV) магнитно-резонансная картина становится более яркой: фиброзные разрастания образуют средне- и крупноячеистые «соты», причём, чем меньше фиброз, тем меньше размер ячеек, содержащих жидкость. Метод позволяет вычислять объём конечности, используя формулу усечённых конусов. Оценка степени увеличения объёма должна выполняться путём сравнения со здоровой конечностью.

При исследовании пациентов с лимфедемой после операции липосакции или лимфовенозного шунтирования на серии снимков виден отечный оперативный доступ, уменьшение размеров лимфатических коллекторов, снижение накопления жидкости в регионарных лимфатических узлах.

Выделим перспективы развития методики кино-MYUR на более совершенных МРТ-системах:

1) Сокращение длительности процедуры позволит анализировать состояние более высокочастотных физиологических ритмов, вплоть до автоколебаний (считается, что поражение последних происходит в пограничных состояниях, когда патологический процесс ещё не манифестирует);

2) Улучшение пространственного разрешения позволит выявлять движение свободной жидкости в тканях (например, по синусной системе лимфатических узлов или в паренхиме коркового и мозгового вещества почек), что важно в диагностике сосудистой и лимфовенозной патологии, оценки функциональной способности почек, решения проблемы образования и функционирования радикулопатических интрафораменальных кист;

3) Возможность работы в более толстом слое или (что лучше) в пакете срезов с последующей 3D-реконструкцией (т. е. сочетание методики кино-MYUR и 3D-MYUR) даст возможность реализации режима кино-гастроуденографии и кино-интестиноколонографии.

Заключение

Таким образом, прижизненные МРТ-изображения лимфатических узлов и крупных лимфатических коллекторов являются достаточно достоверными и точными (с метрической точки зрения) источниками морфофункциональной информации. С другой стороны, применение МРТ требует тщательного анализа получаемых количественных результатов (прежде всего с анатомических, функциональных и патологических позиций). Для развития МРТ лимфатической системы (МР-лимфографии), как направления диагностики, требуется разработка прижизненной «МР-релаксометрии» лимфоидной ткани и органов, разработка специфических МРТ-последовательностей (типа inversion-recovery в режиме fat suppression) для усиления естественного МР-контраста жировой, рыхлой соединительной и лимфоидной ткани, поиск и испытание новых препаратов для непрямо́й интерстициальной МР-лимфографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпаков М. А., Любарский М. С., Нимаев В. В., Хапаев Р. С. Новая классификация методов оценки

- состояния лимфатической системы // Тр. Института клинической и экспериментальной лимфологии СО РАМН. 2000. Т. 8. С. 183—185.
2. Домбровский В. И. Опухоль Вильмса. Диагностические возможности магнитно-резонансной томографии. МРТ-патоморфологическое сопоставление // Вестник рентгенологии и радиологии. 2001. № 6. С. 29—43.
 3. Митрофанов Н. А., Ловягин Е. В. Магнитно-резонансная томография в диагностике распространённости рака лёгкого на средостение и грудную клетку // Вестник рентгенологии и радиологии. 1999. № 6. С. 11—14.
 4. Зерховный И. Лимфатическая система // Общее руководство по радиологии / Под ред. Holger Pettersson. М., 1996. С. 871—889.
 5. Isozaki H., Okajima K., Nomura E., Fujii K. et al. Preoperative diagnosis and surgical treatment for lymph node metastasis in gastric cancer // Gan To Kagaku Ryoho. 1996. Vol. 10. P. 1275—1283.
 6. Roy C., Le Bras Y., Mangold L., Saussine C. et al. Small pelvic lymph node metastases: evaluation with MR imaging // Clin. Radiol. 1997. Vol. 6. P. 437—440.
 7. Якобсон М. Г., Подоплелов А. В., Рудых С. Б. и др. Введение в МР-томографию. Новосибирск, 1991.
 8. Зубарев А. В. Методы медицинской визуализации УЗИ, КТ, МРТ в диагностике опухолей и кист печени. М., 1995.
 9. Летягин А. Ю., Стрыгин А. В., Антонов А. О. Практическое руководство по использованию МР-томографической диагностики в клинической практике. Новосибирск, 1996.
 10. Stark D. D., Bradley W. G. Magnetic Resonance Imaging. Washington, 1992.
 11. Leverstein H., Van [redacted], [redacted] Koos J. C., Quak J. J. et al. Radiointigraphy of head and neck cancer using ^{99m}Tc-labeled monoclonal antibody E48 F (ab)² // Cancer Res. 1992. Vol. 5. P. 2569—2574.
 12. Колокасидис И., Ахадов Т. А., Снигирева Р. Я. Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний щитовидной железы // Медицинская визуализация. 1999. № 1. С. 7—10.
 13. Назаренко Г. И., Араблинский А. В., Романов Р. Г., Богданова Е. Г. Современная комплексная неинвазивная диагностика опухолей паращитовидных желез // Вестник рентгенологии и радиологии. 1999. № 6. С. 4—10.
 14. Wang Q., Takashima S., Fukuda H., Takayama F. et al. Detection of medullary thyroid carcinoma and regional lymph node metastases by magnetic resonance imaging // Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg. 1999. Vol. 8. P. 842—848.
 15. Lam W. M., Chan Y. L., Leung S. F., Metreweli C. Retropharyngeal lymphadenopathy in nasopharyngeal carcinoma // [Head & Neck](#). 1998. Vol. 19, № 3. P. 176—181.
 16. Харченко В. П., Котляров П. М., Гамова Н. В. и др. Магнитно-резонансная томография в диагностике злокачественных лимфом грудной клетки // Медицинская визуализация. 2000. № 2. С. 29—33.
 17. Tabarin N., [redacted] Chanson F., Bachelot Y. et al. Usefulness of somatostatin receptor scintigraphy in patients with occult ectopic adrenocorticotropin syndrome // [J. Clin. Endocrinol. Metab.](#) 1999. Vol. 4. P. 1193—1202.
 18. [redacted], Gross B. H., Aisen A. M., Quint L. E. et al. Imaging of the pulmonary hilum: a prospective comparative study in patients with lung cancer // [Am. J. Roentgenol.](#) 1985. Vol. 2. P. 245—253.
 19. Gipponi M., Bassetti C., Canavese G., Catturich A. et al. Sentinel lymph node as a new marker for therapeutic planning in breast cancer patients // [J. Surg. Oncology](#). 2004. Vol. 85, № 3. P. 102—111.
 20. [redacted] Glazer G. M., Orringer M. B., Gross B. H. et al. Pathologic evaluation of the subcarinal lymph nodes: a comparative study // [Am. J. Roentgenol.](#) 1988. Vol. 2. P. 279—282.
 21. Levitt R. G., Glazer H. S., Roper C. L., Lee J. K., Murphy W. A. Magnetic resonance imaging of mediastinal and hilar masses: comparison with CT // [Am. J. Roentgenology](#). 1985. Vol. 1. P. 9—14.
 22. Murray A. D., Staff R. T., Redpath T. W., Gilbert F. J. et al. Dynamic contrast enhanced MRI of the axilla in women with breast cancer: comparison with pathology of excised nodes // [Brit. J. Radiology](#). 2002. Vol. 75. P. 220—228.
 23. Нуднов Н. В., Сергеевкова Т. Г., Хорикова Е. Н., Кузьмина О. Г. Комплексная диагностика заболеваний молочной железы // Медицинская визуализация. 2000. № 4. С. 46—53.
 24. Stets C., Brandt S., Wallis F., Buchmann J. et al. Axillary lymph node metastases: A statistical analysis of various parameters in MRI with USPIO // [J. Magn. Reson. Imaging](#). 2002. Vol. 16, № 1. P. 60—68.
 25. Арзуманова Н. В. Магнитно-резонансная томография в диагностике опухолей молочных желез // Вестник рентгенологии и радиологии. 1999. № 4. С. 21—24.
 26. Warner E., Ple [redacted] R. S., Catzavelos G. C. et al. [redacted] For breast. Magnetic Resonance Imaging, [redacted] Graphy and Ultrasound for surveillance of women at high risk for hereditary breast cancer // [J. Clin. Oncol.](#) 2001. Vol. 4. P. 3524—3531.
 27. Yoshimura G., Sakurai T., Oura S., Suzuma T. et al. Evaluation of axillary lymph node status in breast cancer with MRI // [Breast Cancer](#). 1999. Vol. 3. P. 249—258.
 28. Grubnic S., Vinniombe S. J., Norman A. R., Husband J. E. MR evaluation of normal retroperitoneal and pelvic // [Clin. Radiol.](#) 2002. Vol. 3. P. 193—200.
 29. Zhang X., Mitchell D. G., Shi H., Holland G. A. et al. Chronic hepatitis C activity: correlation with lymphadenopathy on mr imaging // [Am. J. Roentgenol.](#) 2002. Vol. 179. P. 417—422.
 30. Hann L. E., Winston C. B., Brown K. T., Akhurst T. Diagnostic imaging approaches and relationship to hepatobiliary cancer staging and therapy // [Seminars in Surgical Oncology](#). 2000. Vol. 19, № 2. P. 94—115.
 31. Портной Л. М., Денисова Л. Б., Сташук Г. А. и др. Магнитно-резонансная томография в диагностике рака желудка (по материалам рентгено-МРТ-анатомических сопоставлений) // Вестник рентгенологии и радиологии. 2000. № 1. С. 26—40.
 32. Портной Л. М., Денисова Л. Б., Уткина Е. В. и др. Магнитно-резонансная холангиопанкреатография и проблема диагностики патологии гепатопанкреатодуоденальной области // Вестник рентгенологии и радиологии. 2001. № 4. С. 14—24.
 33. Lee J. K., Heiken J. P., Ling D., Glazer H. S. et al. Magnetic resonance imaging of abdominal and pelvic

- lymphadenopathy // Radiology. 1984. Vol. 10. P. 181—188.
34. Willem M. L., Deserno L. G., Mukesh G., Harisinghani M. T. et al. Urinary bladder cancer: preoperative nodal staging with ferumoxtran-10-enhanced // MR Imaging. 2002. Vol. 16, № 1. P. 60—68.
 35. Williams D., Cousins C., Soutter W. P., Mubashar M. et al. Detection of pelvic lymph node metastases in gynecologic malignancy: a comparison of CT, MR imaging, and positron emission tomography // Am. J. Roentgenol. 2001. Vol. 177. P. 343—348.
 36. Hawnaur J. M., Reynolds K., Wilson G., Hillier V., Kitchener H. C. Identification of inguinal lymph node metastases from vulval carcinoma by magnetic resonance imaging: an initial report // Clin. Radiol. 2002. Vol. 11. P. 995—1000.
 37. Grey A. C., Carrington B. M., Hulse P. A., Swindell R., Yates W. Magnetic resonance appearance of normal inguinal nodes // Clin. Radiol. 2000. Vol. 2. P. 124—130.
 38. Johnson R. J., Hawnaur J. M., Buckley C. H., Tindall V., Isherwood I. Staging, volume estimation and assessment of nodal status in carcinoma of the cervix: comparison of magnetic resonance imaging with surgical findings // Clin. Radiol. 1994. Vol. 7. P. 443—452.
 39. Medl M., Kulenkampff K. J., Stiskal M., Peters-Engl C. et al. Magnetic resonance imaging in the preoperative evaluation of suspected ovarian masses // Anticancer Res. 1995. Vol. 3. P. 1123—1125.
 40. Yang W. T., Lam W. M., Yu M. Y., Cheung T. H., Metreweli C. Comparison of dynamic helical CT and dynamic MR Imaging in the evaluation of pelvic lymph nodes in cervical carcinoma // Am. J. Roentgenol. 2000. Vol. 3. P. 759—766.
 41. Чураянц В. В., Божко О. В., Олькина О. В., Сачкова И. Ю. Роль магнитно-резонансной томографии в диагностике рака предстательной железы // Медицинская визуализация. 2000. № 4. С. 34—41.
 42. [Redacted] Martin F., La Guardia G. et al. [Redacted] staging of rectal cancer by endoluminal [Redacted] vs. magnetic resonance imaging. Preliminary results of a prospective, comparative study // Dis. Colon Rectum. 1994. Vol. 12. P. 1189—1193.
 43. Gagliardi G., Bayar S., Smith R., Salem R. R. Preoperative staging of rectal cancer using magnetic resonance imaging with external phase-arrayed coils // Arch. Surg. 2002. Vol. 4. P. 447—451.
 44. Harisinghani M. G., Barentsz J., Hahn P. F., Deserno W. M. et al. Noninvasive detection of clinically occult lymph-node metastases in prostate cancer // N. Engl. J. Med. 2003. Vol. 348, № 25. P. 2491—2499.
 45. Yaes R. J., Frauscher F., Halpern E. J., Klauser A. et al. Use of MRI to detect lymph-node metastases in prostate cancer // Engl. J. Med. 2003. Vol. 349, № 12. P. 1185—1186.
 46. Blomqvist L., Brown G. Colorectal cancer imaging // Am. J. Roentgenol. 2004. Vol. 182. P. 1600—1601.
 47. Yousefi S., Stockmann U. Lymphatic fistulas after vertebral surgery // Gefasschirurgie. 2000. Vol. 5, № 2. P. 118—120.
 48. Ruehm S. G., Corot C., Debatin J. F. Interstitial MR lymphography with a conventional extracellular gadolinium-based agent: assessment in rabbits // Radiology. 2001a. Vol. 218, № 3. P. 664—669.
 49. Staatz G., Spuntrup E., Buecker A., Misselwitz B., Gunther R. W. T1-weighted MR-lymphography after intramammary administration of Gadomer-17 in pigs. // Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr. 2002. Vol. 174, № 1. P. 29—32.
 50. Ruehm S. G., Schroeder T., Debatin J. F. Interstitial MR lymphography with gadoterate meglumine: initial experience in humans. // Radiology. 2001b. Vol. 220, № 3. P. 816—821.
 51. Любарский М. С., Морозов В. В., Летагин А. Ю., Шevela А. И., и др. МР-лимфографическая верификация межостистых лимфотропных инъекций при лимфедеме нижних конечностей // Сибирский консилиум. 2004. № 9 (39). С. 9—13.
 52. Haraldseth O., Rydland J., Smethurst H. B., Fjosne H. E. et al. Axillary lymph node metastases in breast cancer: preoperative detection with dynamic contrast-enhanced MRI // European Radiology. 2000. Vol. 10, № 9. P. 1464—1471.
 53. Чеканов М. Н., Рутковский Е. А., Якушенко В. К., Летагин А. Ю., Изупова Н. Ю. Магнитно-резонансная томография при прямокишечном раке // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2003. № 5. С. 103—107.
 54. Рутковский Е. А., Якушенко В. К., Летагин А. Ю. Магнитно-резонансная лимфография — новый метод предоперационной оценки состояния лимфатической системы таза при ректальном раке // Вестник НГУ (серия Биология, клиническая медицина). 2004. Т. 2, Вып. 1. С. 3—11.
 55. Robicsek F., Fokin A. A., Masters Th. N. Where does the lymph flow? // International Journal of Angiology. 2001. Vol. 10, № 2. P. 136—141.
 56. Staatz G., Rohrman D., Nolte-Ernsting C. C., Stollbrink C. et al. Magnetic resonance urography in children: evaluation of suspected ureteral ectopia in duplex systems. // J. Urol. 2001. Vol. 166, № 6. P. 2346—2350.
 57. Fujimura M., Shimizu H., Tominaga T., Yoshimoto T., Kosu K. Cine-mode magnetic resonance imaging of a thoracic intradural arachnoid cyst: case report // Surgical Neurology. 1996. Vol. 45, № 6. P. 533—536.
 58. Hakim R., Black P. M. Correlation between lumbo-ventricular perfusion and mri-csf flow studies in idiopathic normal pressure hydrocephalus diagnosis and patient selection for shunt surgery // Surgical Neurology. 1998. Vol. 49, № 1. P. 14—20.
 59. Philippon J., Carpentier A., Brunelle F., Clemenceau S. Obstruction of magendie's and luschka's foramina. Cine-mri, aetiology and pathogenesis // Acta Neurochirurgica. 2001. Vol. 143, № 5. P. 517—522.
 60. Fanucci E., Sergiacomi G., Pock M., Floris R., Simonetti G. The use of the single-pulse RARE sequence in the study of the cerebrospinal axis // Radiol. Med. (Torino). 1992. Vol. 84, № 5. P. 544—548.