

Магнитно-резонансная томография: возможности современной визуализационной технологии в клинической диагностике

А. Ю. Летьягин, А. А. Тулупов, А. А. Савелов, А. М. Коростышевская

Международный томографический центр СО РАН, Новосибирск;
Новосибирский государственный университет

Магнитно-резонансная томография (МРТ) в настоящее время является одной из наиболее современных и совершенных технологий получения диагностического изображения в клинических условиях. Тем не менее, отсутствие широкой сети МР-томографов до последнего времени отразилось в том, что практические врачи недостаточно чётко представляют себе физическую основу, технологию и диагностические возможности данного метода. При этом отрицательный эффект «незнания» приводит либо к переоценке возможностей метода (восприятие его как диагностическую «панацею»), либо к недооценке (вплоть до почти полного его отрицания).

Основы явления. Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР), дающий непосредственную и подробную информацию об отдельных особенностях строения молекул и происходящих в них процессах, получил широкое распространение с момента его открытия в 1946 году [1—20]. МР-томография как научно-исследовательский метод сразу же после появления первых ЯМР-томографов нашла широчайшее применение в медицине для диагностики различных заболеваний, поэтому первыми и основными пользователями метода по сей день являются врачи-диагносты.

Основой для явления магнитного резонанса являются магнитные свойства ядер некоторых элементов. Эти свойства напрямую связаны с такой характеристикой ядра, как спин. При помещении магнитных атомных ядер в магнитное поле происходит ориентация последних относительно направления поля, как элементарных магнетиков или стрелок компаса. Если в отсутствии магнитного поля они способны принимать произвольные положения, то в магнитном поле будут строго ориентированы, причём эта ориентация будет являться состоянием устойчивого равновесия.

Если мы повернём стрелку компаса на 180° вокруг оси, то её положение будет неустойчивым, а при «освобождении» стрелка вернётся в исходное положение. Нечто подобное происходит и с магнитными ядрами в магнитном поле, с тем отличием, что процесс смены ориентации ядра имеет резонансный характер в связи с квантовой природой явления. Для магнитного ядра со спином $1/2$ имеются только два состояния, или два энергетических уровня. В магнитном поле происходит разделение этих уровней, так, что энергетическое расстояние между ними равно:

$$\Delta E = \gamma \hbar B_0,$$

где γ — гиромагнитное соотношение ядра; \hbar — постоянная Планка; B_0 — напряжённость магнитного поля.

Нижний уровень имеет меньшую энергию, следовательно, он «выгоднее», и вероятность пребывания частицы на нижнем энергетическом уровне выше. Распределение ядер между уровнями описывается Больцмановским соотношением:

$$\Delta N = \exp(\Delta E/kT),$$

где N — относительная разность заселённости уровней; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура.

Отсюда следует, что чем больше разность энергии между уровнями, тем больше различие в «населённости» уровней. Поэтому увеличение напряжённости магнитного поля приведёт к увеличению разности заселённости, т. е. числа ядер, поляризуемых магнитным полем, а значит, и интенсивности сигнала ЯМР.

Можно заставить ядра «перепрыгнуть» на более высокий уровень. Для этого требуется «введение» в систему количества энергии, равного ΔE , с помощью радиочастотного импульса с частотой, соответствующей требуемой энергии:

$$\omega = \Delta E/\hbar,$$

где ΔE — разность энергий; \hbar — постоянная Планка.

После этого система ядер переходит в неравновесное состояние и находится в нём некоторое время, определяемое её взаимодействиями с окружением, после чего она возвращается в исходное состояние с излучением энергии ΔE , что и является сигналом ЯМР.

Итак, частота магнитного резонанса линейно зависит от напряжённости магнитного поля B_0 и гиромагнитного соотношения γ :

$$\omega = \gamma B_0.$$

Различные магнитные ядра имеют различные гиромагнитные соотношения и различное естественное содержание в природных веществах. Поскольку для различных химических соединений локальные магнитные поля, накладывающиеся на внешнее постоянное магнитное поле, отличаются, то, анализируя место-

положение резонансного сигнала относительно опорной частоты, количество резонансных линий, их форму и соотношение друг с другом, мы можем идентифицировать различные химические соединения и их превращения [6]. Важными характеристиками ЯМР-сигнала являются времена релаксации T_1 и T_2 . T_1 — время спин-решёточной (продольной) релаксации, отражает скорость отдачи избыточной энергии, «закачанной» радиочастотным резонансным импульсом, другим степеням свободы системы (окружению ядра) и определяется взаимодействием с окружением. T_2 — время спин-спиновой или поперечной релаксации, отражает поведение всего спинового «ансамбля» и не изменяет энергию ядерных спинов.

МР-томография. Приложение ЯМР для исследований в биологии и медицине обнаружило его перспективность для структурных и функциональных (особенно по ядрам ^{31}P , K и Na) исследований биологических тканей. В 1971 году Дамадиан [7] обнаружил, что времена релаксации здоровых и патологически изменённых тканей (опухолевые) отличаются друг от друга. Это вызвало большой поток работ по применениям ЯМР для биоисследований и стимулировало деятельность Лаутербурга, предложившего в 1973 году идею «цойгматографии» [8—10], которая теперь называется МР-томографией. В медицинском сообществе 2003 год ознаменовался присуждением Нобелевской премии в области физиологии и медицины Питеру Мэнсфилду и Полу Лаутербургу за изобретение МРТ, разработку и применение этого метода в медицине.

Принцип МР-томографии заключается в создании в рабочем объёме ЯМР-датчика градиентов магнитного поля, слабых относительно основного магнитного поля, но превышающих разброс по химическим сдвигам образца. В результате различные части образца будут находиться в разном магнитном поле,

и в ЯМР-сигнале разным геометрическим участкам будут отвечать разные частоты.

Выполнив частотное преобразование Фурье, получим спектр, в котором интенсивности сигнала на различных частотах будут соответствовать количествам вещества, т. е., визуализируется одномерная проекция изучаемого объекта на направление приложенного градиента магнитного поля. Поскольку само слово «томография» означает изображение «внутренности» объекта, для получения двухмерной томограммы (среза — тонкого участка объекта) необходимо:

1) Выбрать срез, что достигается одновременным приложением градиента поля («срезового градиента») перпендикулярно плоскости среза и селективного радиочастотного импульса, в результате чего селективно возбуждается узкий срез объекта;

2) Получить данные вдоль второй оси томограммы, что достигается приложением инкрементируемого градиента магнитного поля («фазокодирующего градиента») вдоль второй оси для изменения фазы сигнала. Повторение цикла съёмки столько раз, сколько требуется для получения необходимого пространственного разрешения вдоль второй оси формирует двумерную матрицу «сырых данных» (K-пространства). После двухмерного

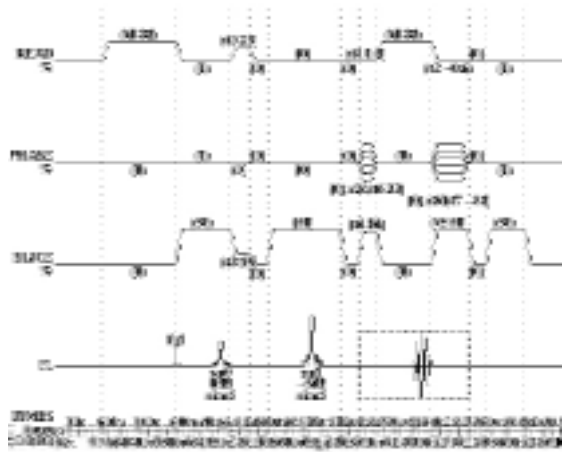


Рис. 1. Импульсная временная диаграмма для последовательности «спинового эхо». READ — ось читающего градиента; PHASE — ось фазокодирующего градиента; SLICE — ось срезового градиента; F1 — ось последовательности импульсов: 90° -импульс, 180° -импульс и «эхо».

Фурье-преобразования K-пространства получается томограмма исследуемого объекта с толщиной, заданной срезовым градиентом.

Поскольку время съёмки одного цикла определяется временами релаксации (T_1 для дистиллированной воды порядка нескольких секунд при магнитных полях около 1 Тесла), то при одном фазовом кодировании на цикл для получения изображения с разрешением 256×256 точек требуется несколько минут, т. е. метод достаточно времяёмкий. Тем не менее, он получил широчайшее применение в медицине для диагностики заболеваний, поскольку даёт уникальную информацию о морфологическом состоянии внутренних органов пациента, а по контрасту мягких тканей и выявлению онкологических заболеваний не имеет себе равных. Во всём мире на 2003 год эксплуатируется около 10000 МР-томографов, что стимулирует большое количество исследовательских групп, работающих над методами МР-томографии и её приложениями в клинической практике.

Основные методы ЯМР-томографии.

1. *Спиновое и градиентное эхо.* Среди методов ЯМР-томографии основными являются методы «спинового эхо» (рис. 1) и «градиентного эхо» (рис. 2).

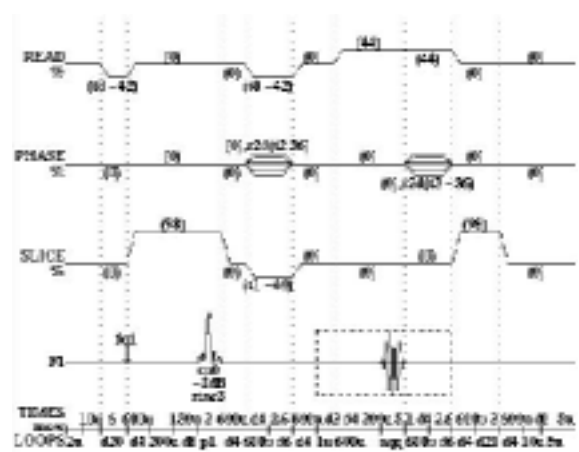


Рис. 2. Импульсная временная диаграмма для последовательности «градиентного эхо». READ — ось читающего градиента; PHASE — ось фазокодирующего градиента; SLICE — ось срезового градиента; F1 — ось последовательности импульсов: 90° -импульс, инверсия направления читающего градиента вместо 180° -импульса и «эхо».

Метод «спинового эхо», впервые предложенный Ханом в 1950 году [11], позволяет устранять влияние локальных неоднородностей магнитного поля, влекущих дополнительное уширение линий и дающих, так называемый, «неоднородный вклад в T2». Он заключается в использовании нескольких равноотстоящих во времени (либо кратных времени между первым и вторым импульсами) радиочастотных импульсов (минимум — два). После первого ($t=0$) локальные неоднородности магнитного поля приводят к дефазированию спинового ансамбля с уменьшением суммарного вектора поперечной намагниченности («неоднородное T2»), а после второго ($t=TE/2$), рефокусирующего, импульса переворот спинового ансамбля при тех же неоднородностях обеспечивает рефокусировку сигнала, и в момент времени, равный TE, будет наблюдаться сигнал эхо. Если рефокусирующих импульсов будет несколько, возникнет несколько сигналов эхо с последовательно уменьшающимися амплитудами. Огибающая пиков этих сигналов отображает T2-спад. Сделав экспоненциальную аппроксимацию для случая идеальных 180° -рефокусирующих импульсов, в принципе, можно получить значение T2 [12]. Применяя инверсные последовательности, можно измерить T1. Введением импульсных градиентов магнитного поля в промежутке между импульсами, возможно определить коэффициенты диффузии образца [13, 14]. Использование более сложных импульсных последовательностей позволяет регистрировать движущиеся спины, например, поток жидкости в сосуде [15].

Метод «градиентного эхо» заключается в формировании биполярным градиентным импульсом эхоподобной модуляции спада свободной индукции. При этом не происходит компенсации локальных неоднородностей, что приводит к подчёркиванию границ различных сред.

Как метод «спинового эхо», так и метод «градиентного эхо» имеют быстрые разновидности, появившиеся в середине 80-х годов. Последовательность быстрого «спин-эхо» (RARE — Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement или FSE — Fast Spin Echo) была предложена Ю. Хеннигом в 1986 году [16] и основана на регистрации многократных эхо в «спин-эхо» импульсной последовательности, где каждому эхо отвечают различные фазы фазового кодирования. Так, мульти-эхо последовательность с 8 эхо-сигналами, использованная в подобном режиме, приводит к 8-кратному сокращению числа возбуждений. Поскольку каждая строка в этом случае имеет различное время эхо и, следовательно, различное T2-взвешивание, это приходится преодолевать изменением отнесения конкретных эхо-сигналов к конкретным строкам в K-пространстве.

Совершенно другой подход к быстрой съёмке был использован в градиентных методах. В 1986 году А. Хаазе [17, 18] предложил методику FLASH (Fast Low Angle Shot Imaging). В методах этой группы применяются малые углы возбуждения, короткие времена повторения и рефокусировка с помощью градиентного эхо. Как и во всех «градиентных эхо», из-за отсутствия компенсации неоднородностей магнитного поля необходимо использовать короткие эхо-времена для получения качественного изображения. Это исключает возможность увеличения эхо-времени для получения T2-контраста. Методы группы FLASH позволяют получать приемлемые изображения за времена порядка нескольких секунд и даже долей секунды, т. е. позволяют быстро получать плохие изображения. Однако для ряда задач это вполне подходит. Среди них — исследование сердечных сокращений в кардиологии, медленных движений для изучения опорно-двигательной системы и т. д. Особенно важными FLASH-методы являются в перспективе для некоторых за-

дач интервенциональной МРТ, т. е. при проведении хирургических операций под МРТ-контролем непосредственно в объёме магнита, где время съёмки более критичный параметр, чем для рутинных диагностических исследований.

Как в первом, так и во втором случае (RARE и FLASH) исследователи столкнулись с проблемой поперечной когерентности. Дело в том, что при рефокусирующих углах, отличных от 180° , рефокусируется лишь часть поперечной намагниченности, а остальная часть ведёт к образованию стимулированных эхо, накладываясь на основные эхо, меняя тем самым их интенсивность и вклады T1 и T2 релаксации. Эта проблема давно известна в ЯМР-спектроскопии, и для компенсации неизбежных отличий углов возбуждения от идеальных существует целая идеология композитных углов, различных эффективных способов возбуждения и т. д. [19]. Однако для двухмерной МР-томографии, где возбуждающие радиочастотные импульсы неизбежно должны быть селективными, всегда присутствует разброс по углам возбуждения вдоль среза. Поэтому всегда имеется достаточно значительная часть спинов (около 10—20 % от общего числа), повернутых либо на больший, либо на меньший, чем нужно, угол поворота. Их можно использовать, как это делается в RARE и RARE-подобных методах, где сознательно используются рефокусирующие углы меньшие, чем 180° ; тем самым создаётся целый шлейф когерентностей, эволюционирующий рядом с прямыми эхо, накладывающийся на них так, что эхо спадают не по T2-экспоненциальному, а по более сложному закону [20].

2. *Эхо-планарная томография.* Является наиболее быстрым из существующих в настоящее время МРТ-методов. Метод использует однократное возбуждение спинов с последующим цугом сильных биполярных «читающих» градиентов. Фазовый градиент при этом ли-

бо включён непрерывно, либо включается импульсами, каждый из которых отвечает отдельному шагу фазового кодирования. Данный метод позволяет получать несколько изображений в секунду, однако высокие требования к скорости переключения градиентов ограничивают его применение специально сконструированными эхо-планарными томографами.

Из-за сильного T2 время сканирования необходимо максимально укорачивать, что ведёт к уширению спектральной части сигнала, уменьшению отношения сигнал/шум и необходимости усиления читающего градиента. Поэтому размеры матрицы томограммы редко превышают 64×128 пикселей.

МР-томография в медицине. На исследуемый объект (организм пациента) при МР-томографии воздействуют постоянное магнитное поле, быстроизменяемое градиентное магнитное поле и радиочастотные импульсные воздействия, которые и вызывают эффект магнитного резонанса. Время обследования каждого пациента лимитируется как техническими, так и медицинскими факторами. Оно достаточно длительное и в настоящее время достигает от получаса до полутора часов на одну область. Однако даже такое длительное нахождение пациента в приборе не сказывается на состоянии его здоровья, так как постоянное магнитное поле является для человека «обыкновенным» условием обитания, а уровень мощности радиочастотных колебаний не превышает тех пределов, которые установлены санитарно-гигиенической службой; тем более, что этому воздействию люди подвергаются повсеместно, особенно в крупных населённых пунктах.

Противопоказаниями для МР-томографии сегодня являются [21, 22]:

Абсолютные:

— наличие у пациента искусственного водителя сердечного ритма и других электронных устройств;

— наличие металлических (магнитных) осколков в тканях, рядом с сосудами.

Относительные:

— наличие металлических имплантов в теле пациента (как источник помех);

— беременность (первые 3 месяца);

— клаустрофобные реакции (боязнь закрытых пространств);

— высокая вероятность сердечного приступа;

— тяжелое состояние больного, бессознательное состояние пациента.

Особо важным обстоятельством является доказанный многолетней практикой факт безвредности МР-томографии для жизни и здоровья пациентов. Уровень постоянного магнитного поля, создаваемого основной градиентной катушкой МР-томографа не является опасным для человека, хорошо адаптированного для существования в постоянном поле Земли, а уровень резонансного СВЧ-излучения несоизмеримо ниже, чем в медицинских физиотерапевтических установках, не говоря уже о гигиенических требованиях к техническим устройствам (типа СВЧ-нагреватели, радио-локационные установки и др.).

Дальнейшее изложение материала построено по синдромному принципу, поскольку практический врач, назначая пациенту МРТ-обследование либо не уверен в «первичном» клиническом диагнозе, либо не имеет его вовсе. Далее приведены как конкретные клинические показания для получения МРТ-диагностических изображений у пациента, так и возможности, имеющиеся у метода, но не используемые широко в настоящее время в силу различных причин (в основном социально-экономического плана). Вполне понятно, что часть возможностей, представленных в этой лекции, требует специального дополнительного оборудования и программных средств (зависит от комплектации МР-томографа), медикаментов (контрастных средств), специально обученного персонала. В реальной жизни врач, направ-

ляющий пациента на МР-обследование, может узнать конкретный набор доступных МР-методик только при личном контакте со специалистами-радиологами, обслуживающими конкретный МР-томограф.

Материал основан на возможностях интерпретации диагностических изображений, полученных на МРТ-оборудовании рутинного на сегодняшний день уровня (0,2—0,5 Тл) при условии достижения надлежащего уровня квалификации врачей МР-томографии. Вполне понятно, что при отсутствии одного или второго составляющего результативность МРТ-диагностики в некоторых случаях может не удовлетворить лечащего врача. Этот момент важен, ибо необходим предварительный контакт для выяснения уровня и возможностей конкретного МР-томографа для нужд конкретного пациента.

Центральная нервная система, голова и шея [21, 23—25]. Необходимость получения МРТ-диагностических изображений зависит от результатов клинического обследования и наличия или отсутствия очаговой симптоматики. МРТ — высокочувствительная методика в диагностике внутричерепной патологии. Исключением здесь является острое кровоизлияние, когда рекомендуется проведение КТ*. Однако, по прошествии трёх суток МРТ-визуализация очага кровоизлияния становится более эффективной, чем при КТ (за счёт превращения гемоглобина). Если МРТ проводилась первично и дала негативные результаты, иногда рекомендуется проведение МР-томографии с использованием контрастного препарата-парамагнетика для визуализации зон повреждения гематоэнцефалического барьера, а при подозрении на острое кровотечение — КТ [26].

При параназальном синусите (часто имеющим моносимптомное проявление в виде цефалгии) МРТ весьма точна

* Компьютерная томография

в визуализации объёма и распространённости отечно-воспалительных изменений в придаточных пазухах носа. МРТ — высокочувствительный метод в диагностике объёмных образований придаточных пазух носа (опухоль, полип или мукоцеле). При острой инфекции среднего уха, мастоидите и объёмных процессах пирамиды височной кости МРТ также даёт чёткую визуализационную картину, что делает её высокоэффективной для дифференциальной диагностики при предоперационной подготовке ЛОР-больных.

При менингите МР-томография проводится для оценки прогрессирования, выявления осложнений, исключения абсцесса.

При хронической головной боли непрерывного или интермиттирующего характера (продолжающаяся более трёх месяцев без чёткой клинической локализации, без прогрессирования и лихорадки) ранее считалось, что в получении МРТ-изображений нет необходимости. Однако опыт последних лет показал, что повышенная настороженность лечащего врача может быть достаточным основанием для проведения МРТ с целью исключения объёмного процесса с моносимптомным проявлением, так как МРТ является высокочувствительной методикой в диагностике внутричерепных новообразований.

Проведение МРТ, безусловно, необходимо при наличии любой очаговой неврологической симптоматики.

Считается, что в случаях билатерального блефароптоза получения диагностического изображения не требуется. Но унилатеральный блефароптоз, внезапный парез или боль могут быть обусловлены воспалением или опухолью и потому являются вескими причинами для МР-томографии.

МРТ — очень чувствительная и специфичная методика в оценке состояния орбит. МРТ высокоэффективна при диагностике неврита зрительного нерва для

выявления «бессимптомных» бляшек, при дифференциальной диагностике внутриконусных и внеконусных опухолей глазницы, при опухолях слезной железы, при увеличении глазничных мышц (дистиреоидная миопатия) и воспалительных процессах (орбитальные и периорбитальные флегмоны и абсцессы).

МР-томография весьма эффективна при визуализации (определение границ и топографии) новообразований и гнойно-воспалительных процессов челюстно-лицевой области.

МР-томография высокоэффективна при диагностике патологии области турецкого седла (макро- и микроаденома гипофиза, краниофарингеома, супраселлярная менингиома, «пустое» турецкое седло, глиома, гамартома, лимфома, аневризма супраселлярной области, арахноидальная киста и др.), позволяет детально описать соотношение опухоли с соседними структурами. При этом часто требуется применение контрастирующего препарата-парамагнетика.

При инсульте [26] с внезапной потерей сознания или других клинических симптомах, указывающих на цереброваскулярную катастрофу (чаще — у пожилых пациентов, но может случиться в любом возрасте, в том числе у детей), необходимо исключить экстрацеребральные сосудистые заболевания. До сих пор в таких ситуациях используется КТ, в основном для исключения кровоизлияний, либо выполняется церебральная ангиография. Однако МРТ — чувствительная (90 %) и специфичная (80 %) методика; исключением являются лишь случаи острых кровоизлияний, когда действительно требуется проведение КТ.

При подостром кровоизлиянии (от 3 суток и более) МРТ достоверно визуализирует очаг поражения. Оценка состояния интра- и экстракраниальных артерий головного мозга (кровоснабжение головного мозга) высокодостоверно при применении МР-томографии в сочетании с бесконтрастной МР-ангиографией (при

наличии программного обеспечения). МРТ сонных и позвоночных артерий в режиме бесконтрастной МР-ангиографии может проводиться для неинвазивного мониторинга состояния кровоснабжения центральной нервной системы в ходе лечения.

При ишемическом поражении головного мозга классические КТ или МСКТ (мультиспиральная компьютерная томография) используется через 24 часа после инсульта. МРТ в режимах T2-ВИ и FLAIR эффективна уже через 6—12 часов; МРТ-диффузно-взвешенные изображения — в первые часы, а МРТ и, особенно, МСКТ в режиме перфузии с контрастным усилением — в первые минуты после инсульта. Кроме того, МР-диффузно-взвешенные изображения используются в хроническую стадию заболевания (после 14 дней) для прогноза повторных инсультов. Возможность проведения локальной МР-спектроскопии на приборах с силой поля 1,5 Т позволяет уточнить диагноз — определяются высокий пик лактата и снижение пика ацетиласпартата, что говорит о преобладании процессов анаэробного гликолиза. Если выявлена патология или планируется хирургическое вмешательство, а бесконтрастная МР-ангиография по каким-либо причинам оказалась малоинформативной, то вслед за МРТ может проводиться контрастная МР-ангиография и контрастная церебральная ангиография.

При синкопальных состояниях с внезапными, клинически необъяснимыми потерями сознания (эписиндром), даже при отсутствии головной боли и нормальных результатах клинического обследования ЦНС есть смысл выполнить МРТ-обследование.

Припадки у взрослых, требующие верификации диагноза эпилепсии (с помощью электроэнцефалографии) и не отвечающие на антиконвульсивную терапию, требуют проведения МРТ даже при отсутствии указаний на возможный орга-

нический генез эпилептического синдрома. Аналогично, нефебрильные судороги у детей. Электроэнцефалография — основной функциональный метод для исключения эпилепсии, а МРТ показана даже при отсутствии указаний на возможный органический характер эпилептического синдрома, при этом если 10—15 лет назад частота выявления морфологического субстрата достигала 40 %, то с появлением новых методик и модернизации МРТ-систем повысилась до 70—90 %.

При коматозных состояниях (продолжительная потеря сознания без предшествующей травмы) ранее считалось, что получение МРТ-диагностического изображения требуется лишь в случаях отсутствия возможности установления причины клиническими методами (для исключения диабета, малярии, лекарственных и метаболических отравлений, инфекций и эндокринной патологии). Однако в последнее время наметилась тенденция активного использования МР-томографии у пациентов в бессознательном состоянии. При этом пациенты в коматозном состоянии нуждаются в мониторинге ЭКГ или ИВЛ при проведении МРТ, что может представлять некоторые трудности, поскольку для этого требуется специальная «немагнитная» кардиореспираторная система мониторинга и «искусственного дыхания».

При снижении слуха, глухоте и головокружении считается, что у пожилых пациентов получение МРТ-изображений не требуется, так как этот процесс у них обычно носит «возрастной» характер. Это положение должно быть скорректировано лечащим врачом, поскольку МРТ эффективно выявляет проявления церебрального атеросклероза и шейного остеохондроза, позволяя детализировать патогенез в каждом конкретном случае. Более того, полная или частичная потеря слуха может быть обусловлена нарушением проводимости звука (отечно-склеротические изменения среднего

и внутреннего уха) или нервно-сенсорными дефектами (поражением проводящего пути «внутреннее ухо — кора головного мозга»), а головокружение (объективное или субъективное), нередко связано с потерей слуха.

При этом МРТ может визуализировать морфологические изменения: невриномы, параганглиомы и шванномы лицевого и стато-акустического нервов (особенно при использовании контрастного препарата-парамагнетика); помогает визуализировать абсцесс мозга как вариант распространения инфекции при среднем отите или мастоидите. Высока эффективность МР-томографии при верификации причин развития и атипичного течения патологии тройничного нерва (опухолевого, демиелинизирующего и сосудистого характера).

МРТ-исследование является методом выбора при подозрении на внутричерепное объемное новообразование [27], т. е. в ситуациях с постоянной и прогрессирующей головной болью, признаками прогрессирующего подъема внутричерепного давления, очаговой симптоматикой со стороны центральной нервной системы и дефектами зрения.

У новорождённых и детей младшего возраста МРТ высокоэффективна для обнаружения пороков развития структур ЦНС, артериовенозных мальформаций церебральных и вертебральных сосудов, в последнем случае особенно показано использование контрастного препарата-парамагнетика. При проведении МРТ у детей младшего возраста требуется мощная седативная терапия, медикаментозный сон или наркоз для исключения двигательных артефактов. Это создаёт дополнительные проблемы при проведении МРТ и требует опыта, персонала и оборудования.

У детей старшего возраста и у взрослых МРТ обладает 90 % чувствительностью и приблизительно 60 % специфичностью в диагностике внутричерепных новообразований. Существовало мнение,

что МРТ обладает меньшей чувствительностью в выявлении менингиом, чем КТ. Однако, применение современного Gd-содержащего контрастного препарата-парамагнетика значительно повышает возможности МРТ-диагностики как менингиом, так и новообразований гипофизарной ткани и параселлярных структур мозга, субтенториальных опухолей, в том числе интраоперационно и в 1-е сутки послеоперационного периода для диагностики остатков внутримозговых опухолей.

С другой стороны, динамическая (повторная) МР-томография (даже без контрастного усиления) с применением биометрического подхода позволяет достоверно оценить наличие прогрессивного роста аденом и микроаденом гипофиза; является методом выбора для топической диагностики и оценки эффективности лечения заболеваний гипоталамо-гипофизарной системы.

Высока эффективность МР-томографии при диагностике причин вентрикуломегалии (внутренней гидроцефалии), наружной гидроцефалии, характера течения цереброспинальной жидкости (при наличии специальных программных средств).

При нетравматической параплегии (острая или прогрессивная потеря функции конечностей в сочетании со спинальными неврологическими аномалиями при отсутствии травмы в анамнезе) получение МРТ-изображения должно проводиться с учётом уровня поражения, устанавливаемого на основании результатов клинико-неврологического обследования. Первичной целью МРТ-исследования является установление необходимости хирургического вмешательства или терапевтического ведения пациента.

МР-томография — высокоэффективный метод диагностики и контроля терапии рассеянного склероза. Признаки рассеянного склероза обнаруживаются до 88 %, в том числе при существовании субклинических очагов демиелинизации

и «немых» очагов поражения головного мозга при спинальных формах при этом применение контраста-парамагнетика значительно повышает информативность исследования (выявляются очаги нарушения гематоэнцефалического барьера). Однако даже в этих условиях отрицательный результат МРТ не исключает диагноза рассеянного склероза.

МР-томография головного мозга у детей с подозрением на детский церебральный паралич даёт возможность установить на ранних стадиях наличие и характер гидроцефалии, степень гипертензионного синдрома, а также топичку изменений для раннего и специфического лечения. МРТ используется для динамического наблюдения за эффективностью терапии.

МРТ является наиболее информативной методикой для визуализации патологических изменений и постановки окончательного диагноза при синдроме Арнольда—Киари и синингогидромиелии.

При потере голоса к получению МРТ-изображений прибегают при подозрении на карциному гортани или паралич голосовых связок. Возможно проведение МРТ гортани для выявления опухолевого процесса, особенно в желудочках гортани, что позволяет оценить вовлечённость соседних областей в опухолевый процесс. МРТ органов грудной клетки проводится в этих случаях при неоднозначных результатах рентгенографии и/или КТ (при подозрении на поражение возвратных нервов).

При расстройствах глотания МРТ позволяет визуализировать в различных плоскостях все органы, участвующие в этом процессе, для выявления поражения. МРТ, безусловно, показана при подозрении на опухоль глотки; используется для определения стадии опухоли, оценки глубины прорастания пищевода, инвазии трахеи и крупных сосудов, степени поражения регионарных лимфатических узлов, для адекватного обоснования и контроля за эффектом противоопу-

холевой терапии. При других объёмных образованиях шеи МРТ высокоэффективна для визуализации (определение границ, топографии) новообразований, диффузных и солидных разрастаний, кист глотки, носоглотки, окологлоточного пространства, ротовой полости, ротоглотки, крупных слюнных желез, шеи и наружного основания черепа.

МРТ даёт приблизительно одинаковую с КТ и УЗИ клинико-анатомическую информацию и играет большую роль в получении диагностических изображений щитовидной железы, особенно при внутригрудном расположении опухоли или струмы. МР-томография также эффективна при визуализации границ и топографии других объёмных образований шеи: врождённые (щитовидноглоточная протоковая киста, бронхиальная киста, кистозная гигрома, эктопическая щитовидная железа); воспалительные образования (абсцессы, флегмоны); неопластические процессы (как сами, так и их метастазы в лимфатические узлы); сосудистые заболевания (обструкции и тромбозы венозных сосудов, сосудистые мальформации); заболевания слюнных желез (кисты, абсцессы, опухоли).

Опорно-двигательный аппарат [21, 28—30]. МРТ позволяет визуализировать соединительную, хрящевую ткань и костный мозг, что делает её особенно ценной при обследовании скелета и суставов у детей. При врождённых аномалиях развития позвоночника МРТ — высокоэффективный метод выбора, так же как и при врождённых мальформациях опорно-двигательного аппарата; безвреден при применении у новорождённых, детей и подростков.

Клинические признаки и симптомы болезней суставов могут ограничиваться одним суставом или проявляться полиартропатией и спондилоартропатией. МРТ в последнее время практически вытеснила рентгеновскую артрографию, ибо не требует введения в суставы газа (устраняется опасность эмболии), чётко

визуализирует мягкие ткани сустава и позволяет оценить границы поражения (в том числе внутрисуставных связок и менисков), выявить патологическую васкуляризацию хряща и субхондральные изменения. МРТ является высокочувствительной методикой в выявлении артритов и другой суставной патологии, приводящей к накоплению в суставе свободной жидкости, в том числе при определении степени поражения суставов при ревматоидном артрите и других полиартикулярных и спондилоарттикулярных синдромах. Высока чувствительность МРТ и при аваскулярных (асептических) некрозах головки бедренной кости, при дисплазиях тазобедренного сустава, суставов стопы и кисти у младенцев и детей. МРТ является одной из высокоэффективных методик при оценке синдрома нарушения равновесия надколенника диспластического генеза, при расстройствах височно-нижнечелюстного сустава, при проксимальной фокальной тазобедренной недостаточности.

При синдроме «боли в позвоночнике» (дегенеративные заболевания), даже если неврологическое обследование не обнаруживает патологии, получение диагностических изображений позвоночника необходимо, а МРТ превосходит по информативности все методики, особенно при неясных и стёртых клинических симптомах и может дать ценную диагностическую информацию о состоянии костной ткани и костного мозга тел и дуг позвонков, о межпозвонковых суставах и дисках, о связочном аппарате и твёрдой мозговой оболочке, о межпозвонковых отверстиях, корешках спинного мозга и паравертебральных тканях. МРТ с применением функциональных укладок (необходимы специальные гибкие катушки, а МРТ-система должна иметь большую апертуру магнита) позволяет оценить состояние межпозвонковых дисков, связок и мозговых оболочек позвоночного канала при изменении положения позвоночно-двигательного сегмента, что значительно повышает точность ди-

агностики нестабильных форм остеохондроза.

МРТ обладает высокой чувствительностью и специфичностью в диагностике заболеваний спинного мозга. При отсутствии патологии по результатам МРТ в дальнейшем обследовании нет необходимости.

При наличии неврологической очаговой симптоматики, безусловно, МРТ является первичным методом у пациентов с подозрением на грыжеобразование дисков, интраспинальные опухоли и мальформации спинного мозга.

При локальной костной боли МРТ позволяет выявить скинтиграфически «немые» опухоли. При генерализованных заболеваниях скелета МРТ способна выявлять гистiocитоз, плазмocитому и множественную миелому, имеет преимущество перед другими методиками на ранних стадиях заболевания.

При остеомиелите МРТ является исключительно чувствительной и специфичной методикой за счёт высокого сигнала отека на T2-ВИ (в отличие от скинтиграфии неинвазивна и не несёт лучевой нагрузки), поэтому играет особую роль в ранней диагностике остеомиелита позвоночника и трубчатых костей, в том числе интрамедуллярного поражения кости.

МРТ выявляет на ранней стадии метастазы в кости и опухоли кости (в виде отечной реакции костного мозга и костной ткани на метастазы), фокусы плазмocитомы и поражение костей при таких системных заболеваниях, как лейкомия, лимфома, миелома. Наряду с КТ и классическими рентгенологическими методами МРТ высокоэффективная методика для выявления хрящевых опухолей костей (энхондромы кости), в том числе интрамедуллярного поражения кости, протекающего без поражения кортикального слоя. МРТ позволяет оценить кровоснабжение опухоли и определить очаги некроза в ней, отличить красный кост-

ный мозг от жёлтого и выявить патологические процессы в нём.

При отеках конечностей лимфатического происхождения (первичная лимфедема) и при вторичной лимфэдеме (обструкция тока лимфы в лимфатических узлах или сосудах) МРТ-системы (на 0,23—0,5 Тл) позволяют успешно диагностировать изменение размеров лимфатических узлов и сосудов. Есть возможность дифференцировать фиброз лимфоузла от отечно-воспалительных изменений (лимфаденита) и опухолевой инвазии, а применение Gd-содержащего контрастного средства в режиме непрямой МР-лимфографии даёт возможность оценить транспортную функцию в регионе дренирования.

При отеках вследствие аномалий развития (лимфогемангиомы и нейрофибромы) МРТ наиболее информативна и является методом выбора при мальформациях лимфатических и венозных сосудов.

МР-томография используется при диагностике злокачественных (злокачественная фиброзная гистиоцитома и саркома: фибросаркома, липосаркома, лейомиосаркома, рабдомиосаркома, ангиосаркома, синовиальная саркома, нейрофибросаркома) и доброкачественных опухолей мягких тканей; введение контрастного препарата-парамагнетика способствует улучшению визуализации и определению особенностей васкуляризации опухолей. МРТ высокоэффективна для раннего выявления (до начала обызвествления) очагов прогрессирующей фиброзной остеодистрофии и юношеского дерматомиозита.

Травмы [29, 30]. МРТ не визуализирует собственно костную ткань (соединения кальция не дают МР-сигнал), но зато дифференцирует костный мозг, жировую ткань, отечные зоны (вокруг трещин и переломов) и окружающие мягкие ткани, что позволяет применять эту методику для выявления объёма повреждения и вызванных им осложнений как

в отношении травм опорно-двигательного аппарата, так и в отношении травм внутренних органов. При повреждениях хрящевой и соединительной ткани МР-томография — наилучший метод их визуализации.

Черепно-мозговая травма. Традиционно МРТ не проводится в случаях острой мозговой травмы и считается менее чувствительной, чем КТ, в выявлении «свежих» кровоизлияний в центральной нервной системе непосредственно после травмы (до 3 дней). Однако в последнее время МРТ (в сочетании с МР-контрастным препаратом) всё чаще используется даже в таких urgentных ситуациях. В этих случаях показаниями для МРТ являются: малое количество данных после проведения КТ, поражения ствола мозга (в том числе и его вклинивание), краниоспинальные травмы, подострая фаза субдуральной гематомы. Используются T2-ВИ, FLAIR и диффузно-взвешенные методики МРТ.

Независимо от причин травмы необходимо получение диагностического изображения для выявления вдавленных переломов или наличия инородных тел. МРТ даёт точную диагностическую информацию, но противопоказана только при наличии инородных металлических тел с магнитными свойствами, когда она может оказаться калечащей процедурой. МРТ лицевого черепа эффективно выявляет изменения в мягких тканях и применяется при оскольчатых переломах орбит и параназальных пазух.

Спинальная травма. Повреждение спинного мозга происходит в 10—14 % случаев переломов позвоночника. При злокачественном росте образований в спинномозговом канале и между дугами позвонков возможны патологические переломы с неврологической симптоматикой в 60 % случаев. МРТ применяется для визуализации этих поражений и может использоваться как первичная методика. Общеизвестно, что МР-томография при органических заболеваниях позво-

ночника и спинного мозга позволяет решить практически все проблемы диагностики и динамического контроля без применения других методик. Это же касается и многооскольчатых переломов. В настоящее время пациентам с острой спинальной травмой или неврологической недостаточностью, которые должны устраняться хирургическими методами, МРТ обязательно проводится в предоперационный период. Только очень тяжёлое состояние некоторых пациентов может сделать проведение МРТ невозможным.

Тупые травмы грудной клетки, живота и таза. В результате травм грудной клетки происходит 1/3 летальных исходов при дорожно-транспортных происшествиях. В результате тупых травм живота погибает около 10 % травмированных. При тяжёлых повреждениях МРТ ранее обычно не применялось, но в последнее время появился опыт применения МР-томографии в ургентных ситуациях (при наличии МР-томографа и опытного персонала). Наряду с КТ, МР-томография вполне может дать диагностическую информацию как о состоянии самой почки, так и о тканях, окружающих почку, лоханки и мочеточники. МРТ даёт весьма качественную диагностическую информацию в случаях осложнённых переломов таза и бедра. Более того, сложные травматические поражения у детей, захватывающие хрящевые ткани, можно эффективно визуализировать только с помощью МР-томографии.

МРТ в случаях острых повреждений конечностей не применяется, хотя на МР-томограммах качественно визуализируются стрессовые переломы, ранний остеонекроз (инфаркт кости) и остеомиелит.

Инородные тела. МРТ хорошо визуализирует силиконовые имплантаты, в некоторых ситуациях может визуализировать деревянные инородные тела (в зависимости от уровня содержания в них воды). Металлические инородные

тела и зубопротезные сплавы, как правило, вызывают на МР-томограммах значительные искажения. Более того, наличие металлических магнитных инородных тел (случайно-травматического или искусственного происхождения) близ сосудов и в ткани головного мозга является абсолютным противопоказанием для проведения МР-томографии. Весьма интенсивные искажения (артефакты) на МРТ-изображениях появляются при наличии у пациента кардиостимуляторов, слуховых аппаратов и подобных электронных устройств, которые после нахождения в МР-томографе, как правило, выходят из строя.

Грудная клетка и сердечно-сосудистая система [21, 31, 32].

Острое и хроническое диспноэ. Среднеполные МРТ-системы достаточно хорошо визуализируют трахею и крупные бронхи (при наличии системы синхронизации по дыханию), но МРТ особенно показана (наряду с КТ), если источник диспноэ предполагается в средостении. При подозрении на дилатацию, расслоение или аневризму аорты, или другие сосудистые заболевания (синдром верхней поллой вены), а также объёмные процессы в корнях легких (в средостении) МРТ (при наличии системы синхронизации по ЭКГ) может конкурировать с МСКТ.

Объёмное образование в грудной клетке. Как и КТ, МРТ даёт качественную диагностическую информацию в случаях узлового поражения органов грудной полости, где эти методы незаменимы для решения вопросов степени прорастания опухолью грудной стенки, перикарда и структур сердечно-сосудистой системы. Опухоль Pancoast (плоскоклеточный рак верхушки лёгкого) оптимально визуализируется с помощью МРТ. Аналогично визуализируются проявления туберкулёза (от первичного комплекса и лимфоаденопатии до кавернозных и диссеминированных форм), очаги опухолевого метастазиро-

вания в ткань лёгкого и лимфатические узлы средостения.

МРТ помогает дифференцировать васкулярные и не васкулярные образования в средостении или корнях легких, выявлять аневризму аорты, её расслоение и другие сосудистые аномалии. При прочих равных условиях, МРТ при аневризмах восходящей аорты — очень эффективный метод, а у тяжёлых пациентов — единственно показанный (вместо УЗИ и аортографии). МР-томограф способен качественно визуализировать объёмные процессы в перикарде и сердце (при наличии ЭКГ-синхронизации). МРТ даёт диагностическую информацию и имеет преимущество перед КТ в случае близкого расположения объёмного образования плевры к диафрагме и перикарду, когда МРТ может оказаться незаменимой. С другой стороны, современная МСКТ и МСКТ-ангиографические методики позволяют говорить о высокой корреляции методов магнитного резонанса и компьютерной томографии.

Экстраплевральные объёмные образования. МРТ даёт диагностическую информацию и предпочтительна при определении стадии опухоли верхнего отдела реберно-позвоночного желоба, определении стадии лимфомы, в диагностике плечевого плексита, паракардиальных опухолей и опухолей заднего средостения с возможным интраспинальным распространением, при объёмных образованиях диафрагмы.

Хроническая боль в области сердца. Высокопольные и, отчасти, среднепольные МРТ-системы (с ЭКГ-синхронизацией и набором специализированных программ) применяются для визуализации последствий инфаркта миокарда (аневризмы, внутрисердечные тромботические массы), для оценки коронарного кровотока и состояния сердечной мышцы (при кардиомиопатиях), для исследования крупных сосудов сердца (расслоение аорты, наличие пристеночного тромба), для точной диагностики

перикардитов, кист, первичных и вторичных опухолей сердца, выпотов и кровоизлияний в перикард. При использовании контрастных Gd-препаратов опухоль в полости перикарда можно выявить даже на фоне экссудата. Трёхмерная МРТ позволяет точно определить объёмы камер и массу миокарда. МРТ всё чаще используется для диагностики врождённых дефектов развития сердца и его крупных сосудов, артерио-венозных пороков развития легких, а также для оценки результатов кардиологических операций. На высокопольных приборах активно развивается функциональная МРТ сердца, а кино-МРТ-режим используется для оценки размера и функции стенок желудочков, для локализации турбулентного кровотока, недостаточности и стеноза клапанов сердца, а кино-МРТ с кодированием скорости позволяет измерить ударный объём и пиковую скорость кровотока, оценить кровоток в крупных сосудах и объём потоков регургитации (при пороках), объём шунтового кровотока, и даже определить объём коронарного кровотока. Активно развиваются методики МР-коронарографии и МСКТ-коронарографии. Разработаны МР-методики оценки перфузии и жизнеспособности миокарда, а также скрининг-методы оценки степени кальциноза и атеросклеротического поражения коронарных артерий возможностями МРТ, МСКТ и электронно-лучевой томографии.

При заболеваниях периферических артерий МРТ (в режиме МР-ангиографии) является неинвазивной бесконтрастной методикой получения диагностического изображения при заболеваниях артериальной системы, особенно эффективной в выявлении аневризм и расслоений аорты и подвздошных артерий. При тромбозе вен МРТ считается методом выбора при синдроме верхней полой вены и при окклюзиях плечеголовной вены; она даёт достоверную информацию при тромбозе тазовых вен и вен нижних конечностей, позволяет визуализи-

зировать тромбы, опухолевые и дегенеративные массы внутри венозных сосудов, а при наличии технических условий — определять скорость венозного кровотока. МРТ наиболее эффективный способ диагностики врождённых артерио-венозных, венозных и лимфатических мальформаций.

При вторичных гипертензиях, вызванных заболеваниями аорты, МРТ — лучший способ получения изображений аномалий аорты и других сосудов, которые могут являться причиной гипертензий. При гипертензиях, вызванных заболеваниями почек, МРТ даёт достаточно диагностической информации и позволяет избежать инвазивных методик. МРТ весьма информативна при гипертензиях, вызванных гиперплазией или опухолями надпочечников.

Объёмные образования молочной железы или скрининг при раке молочной железы. МРТ-маммография в отдельных случаях превосходит поверхностную маммографию как процедуру выбора визуализации, особенно в случае использования контрастного усиления (чувствительность — 97,3 %, положительно подтверждённые результаты — 83,7 %, отрицательно подтверждённые — 99,7 %, точность — 97,1 %, специфичность — 96,1 %). Минимальный диаметр опухоли, возможный для визуализации на МРТ (0,28 Тл) с контрастным усилением, равен 3 мм. Положительные эксперименты научных групп с МРТ-маммографией определили, что для установления точного диагноза требуется исследование с применением Gd-контрастного препарата в двойной дозе. Поэтому эта методика должна использоваться во всех неясных случаях несоответствия радиографических, ультразвуковых и клинических данных, включающие следующие моменты: уплотнения молочной железы, где не имеется точных свидетельств патологических поражений другими методами визуализации; необъяснимые кальцификаты; предшествующие операции;

беременность, когда необходимо избегать радиационного воздействия; канцерофобия, даже если клинически и маммографически имеются негативные результаты.

Брюшная полость, таз и мочевого тракт [21, 33].

Объёмные образования брюшной полости у взрослых и детей. В тех случаях, когда исследуемое образование связано с забрюшинным пространством или паренхиматозными органами, применение МР-томографии становится методом выбора (чаще более информативным, чем КТ); хотя МРТ с целью поиска опухоли или полипа в верхних отделах желудочно-кишечного тракта можно предпринять лишь после принятия пациентом перед обследованием воды или водно-маннитоловой смеси с контрастным препаратом-парамагнетиком.

При объёмных образованиях печени МРТ даёт диагностическую информацию, а использование контрастного препарата-парамагнетика позволяет надёжно верифицировать диагноз. МРТ может обнаружить более мелкие очаги поражения, чем КТ, поскольку обыкновенно они окружены зоной отека. При объёмных образованиях желчного тракта (рак и полипы желчного пузыря и желчевыводящих протоков) МРТ даёт надёжную диагностическую информацию (особенно при использовании контрастных веществ), позволяет оценить стадию онкопроцесса, визуализировать регионарные лимфатические узлы.

Очаговые изменения печени. МРТ информативна при первичных опухолях, абсцессах, гематомах и кистах печени; при визуализации поражённых внутрипеченочных сосудов (гемангиомы) и желчных протоков, регионарных лимфатических узлов и капсулы печени. Контрастная МРТ (с Gd-содержащим контрастным препаратом-парамагнетиком) — наиболее информативная методика для оценки и визуализации метастатических поражений печени (особен-

но при наличии отека вокруг очага). Контрастная МР-ангиография хорошо визуализирует кровеносные сосуды печени.

МР-холангиопанкреатография (МР-ХПГ)* является современным неинвазивным высокочувствительным и специфичным методом визуализации и диагностической оценки внепечёночных протоковых изменений: патология желчного пузыря, холедохолитиаз, доброкачественные и злокачественные стриктуры, аномалии развития протоков, послеоперационные изменения. Высокая степень корреляции с результатами РХПГ и ЧЧХ говорит о больших перспективах этого метода в диагностике заболеваний панкреатобилиарной зоны.

Заболевания поджелудочной железы. МРТ информативна при оценке состояния поджелудочной железы и прилежащих к ней аорты и нижней полой вены. Более того, МРТ позволяет визуализировать размеры поджелудочной железы, кисты, псевдокисты и абсцессы, распространённость воспалительного инфильтрата и отека окружающей жировой ткани при подостром и остром геморрагическом панкреатите. При опухолях поджелудочной железы можно установить границы опухоли, наличие некроза в ней, и её врастание в сосудистые структуры, оценить резектабельность опухоли.

При подозрении на мочекаменную болезнь МРТ в настоящее время используется, поскольку конкременты могут визуализироваться на T2-взвешенных изображениях и при использовании МР-урографической последовательности. При поражении почек МРТ может дать диагностическую информацию (особенно в режиме бесконтрастной МР-урографии для выявления обструктивных уропатий). МР-ангиография считается наиболее чувствительной методикой для диагностики тромбоза почечной вены.

* Подробное обсуждение этого метода МР-исследования будет опубликовано в Вестнике НГУ, 2004, Т. 2, выпуск 4.

Помимо этого, у детей при подозрении на гидронефроз МРТ — высокочувствительная методика даже в бесконтрастном варианте. При подозрении на опухоль Вильямса (нефробластому), на нейробластому и на неонатальное кровоизлияние в надпочечники МРТ чувствительна в оценке степени вовлечения сосудов, чётко визуализирует границы образования.

Хроническая почечная недостаточность. МРТ проводится для выявления обструктивных уропатий, визуализирует аномалии и дисплазии почек, врождённые и приобретённые кисты (и кровотечения в кисту), абсцессы, псевдоопухоли, опухоли, их соотношение с кровеносными сосудами и состояние регионарных лимфатических узлов. МРТ может оценить перфузию и функциональные возможности пересаженного почечного трансплантата; бесконтрастная МР-ангиография позволяет визуализировать сосудистое русло почек (для поиска врождённых мальформаций). МР-урография позволяет выявить урологические аномалии развития, опухоли мочевыводящих путей и их стриктуры; обструкции оттока мочи как внутри самих путей, так и исходящих из забрюшинного пространства (в том числе забрюшинный фиброз).

МРТ является уникальной методикой визуализации патологии надпочечников; она позволяет определить их размер, структуру ткани, выявить кисты, псевдокисты, абсцессы, кровоизлияния (особенно при переходе от острой стадии к подострой), инфаркты, лимфому и метастатическое поражение. МРТ способна визуализировать феохромоцитому, а также опухоли, не связанные с нарушением функций надпочечников.

Ретроперитонеальные объёмные образования. МРТ используется при обнаружении и дифференциальной диагностике опухолей этой локализации, позволяет оценить степень опухолевой инвазии (стадию опухолевого процесса), сте-

пень вовлечения абдоминальных сосудов при злокачественном росте новообразований и выработать оптимальную тактику лечения. Ретроперитонеальные новообразования внепеченочного происхождения могут быть новообразованиями надпочечников, увеличенными лимфатическими узлами (при лимфоме и метастазах), ретроперитонеальными липомами или саркомами, абсцессом большой поясничной мышцы, который следует дифференцировать с новообразованиями этой локализации.

МРТ имеет несомненные преимущества в получении диагностических изображений брюшной аорты и патологических образований, исходящих из неё, даже без контрастирования.

Интраабдоминальный сепсис не всегда сопровождается обнаружением пальпируемых объёмных образований, а их локализация и наличие может быть клинически неопределённо. МР-томография даёт диагностическую информацию о локализации абсцесса, хотя иногда имеются трудности в дифференцировании его с содержимым просвета кишечника.

Подозрение на объёмное образование желудочно-кишечного тракта. При определении стадии карциномы или послеоперационного рецидива опухоли толстой и прямой кишок МРТ предпочтительнее других методик, особенно, когда новообразование иммобилизовано к стенкам брюшной полости.

При поражениях селезенки МРТ позволяет визуализировать размеры и топографию органа, патологические очаги (кисты, абсцессы, инфаркты, метастазы, первичные опухоли) и диффузные инфилтративные изменения (лимфомы).

МРТ оказывается очень полезной в диагностике и оценке наличия метастазов в лимфатических узлах тазовой области; высокодостоверно выявляет опухолевые поражения прямой кишки, степень прорастания опухоли в мышцы и кости таза, позволяет выявлять бессимптомные рецидивы опухолей этой

локализации, свищи (фистулы) и абсцессы аноректальной зоны, а также подслизистые опухоли матки от 1—3 мм в диаметре с чувствительностью до 100 %.

Заболевания предстательной железы. МРТ позволяет получить представление о размере простаты, степени обструкции уретры. Показано, что при узловых метастазах чувствительность первично проведённой МР-томографии — до 85 %, специфичность — около 65 %. Даже низкочастотная МРТ является информативной методикой при обнаружении опухолевой патологии малого таза с размерами от 1,5 см в диаметре; применение контрастного препарата-парамагнетика повышает эти возможности. МР-томография (0,5 Тл) позволяет визуализировать очаги размером от 2—3 мм при раке простаты; также возможна визуализация состояния ткани железы при хроническом простатите, атрофии, фиброзе, инфарктах и абсцессе простаты.

МРТ прекрасно визуализирует дивертикулы мочевого пузыря и уретры, форму и размеры этих органов; наличие в их стенках и просвете опухолей; вовлечённость в онкопроцесс регионарных лимфатических узлов и соседних органов (особенно эффективно при использовании контрастных препаратов-парамагнетиков), что позволяет определить стадию онкопроцесса и правильно выбрать тактику лечения.

МРТ высоко чувствительна в выявлении объёмных образований мошонки: опухолей (в том числе семиномы), кист (варикоцеле, гидроцеле, сперматоцеле), тератом, лимфом, а также в оценке вовлечения в процесс регионарных лимфатических узлов. МРТ позволяет визуализировать перекрут яичка и разрывы белочной оболочки при травме яичка.

Акушерско-гинекологическая сфера [21, 34—36]. МРТ применяется для диагностики заболеваний органов малого таза. МР-томография хорошо визуализирует все детали строения матки и яичников, поэтому при первичном исполь-

зовании она эффективна для обнаружения аномалий развития матки (в 100 % случаев), миоматозных узлов (88 %), кистозных образований (89 %), при эндометриозе матки (80,7 %); а использование контрастного средства-парамагнетика позволяет точно оценивать степень инвазии миометрия.

Акушерство. МРТ является точной методикой пельвиометрии и может использоваться при подготовке к родам. Возможно использование МРТ с целью выявления аномалий развития органов малого таза, а также для ранней диагностики врождённых форм эндометриоза тела матки до начала выраженных клинических проявлений.

Во втором и третьем триместре беременности, когда основной причиной кровотечений может являться предлежание плаценты, возможно применение МРТ. Она является наиболее безопасной по сравнению с другими методами; хотя в настоящее время обычно используется ультразвуковая диагностика, в основном по причинам экономии средств и времени. В последнее время предлагается более широко использовать МРТ для выявления аномалий развития плода даже в первый триместр беременности, особенно если существуют косвенные признаки мальформаций (например, по данным УЗИ). МРТ можно использовать в качестве контрольной методики слежения за развитием овоимплантата.

Пренатальная диагностика аномалий плода. Во второй половине беременности возможно плановое использование МРТ, особенно при использовании быстрых МРТ-последовательностей, хотя высокая подвижность плода в этот период создаёт трудности для исследования.

Томография показана при развитии у беременной эклампсии (для оценки состояния головного мозга, печени и надпочечников), острой жировой дегенерации печени, при подозрении на феохромоцитому. Наличие впервые выявленной (при беременности) опухоли является

безусловным диагностическим показанием к применению МРТ.

Гинекология. Использование МРТ позволяет выявить патологию эндометрия (гиперплазия, полипы), патологии миометрия (эндометриоз, миоматозные узлы небольших размеров) при дисфункциональных маточных кровотечениях. По сравнению с УЗИ и КТ, магнитно-резонансная томография обладает большей разрешающей способностью, позволяющей точнее определить патоморфологические изменения. Кроме того, отсутствие лучевой нагрузки более предпочтительно при исследовании радиочувствительных тканей яичников.

При воспалительных заболеваниях внутренних половых органов цель использования МРТ — дифференциальная диагностика острых воспалительных заболеваний придатков и их опухолевых образований с нарушением микроциркуляции. В придатках матки МРТ позволяет выявить скопления жидкости, гематомы, абсцессы, дифференцировать их от эндометриоза, а также от прорастания придатков опухолями из соседних органов. Помимо этого, возможна верификация абсцедирования воспалительных инфильтратов клетчатки малого таза.

При внутреннем эндометриозе на МР-томограммах можно отчётливо визуализировать нарушение структуры миометрия в результате разрастания стромы эндометрия. При узловой форме эндометриоза МРТ представляет возможность по структуре узла с достаточно высокой степенью достоверности судить о гистологическом субстрате. При диффузной форме эндометриоза МРТ определяет границы патологического процесса, прорастание окружающих тканей и органов.

Опухолевые образования яичников. Типичное контрастное поведение различных тканей (кровь, жир, вода, соединительно-тканые элементы) на МР-томограммах предоставляет возможность дифференциальной диагностики различ-

ных образований по гистологическому составу (тератома, эндометриоидная киста, мелкокистозная дегенерация яичников, трубно-яичниковая воспалительная киста, фиброма).

Доброкачественные опухоли тела матки. МРТ имеет несомненное преимущество в определении реальных анатомических размеров матки и опухоли, топографического расположения узлов по отношению к брюшине, миометрию и эндометрию, наличия или отсутствия дегенеративных изменений, признаков малигнизации, преобладания мышечного или фиброзного компонента.

При злокачественных опухолях матки и придатков МРТ позволяет судить о степени распространения процесса, вовлечении окружающих органов и регионарных лимфатических узлов, планировать объём хирургического вмешательства. МРТ считается наиболее эффективной методикой для контроля химиотерапии.

Основы применения контрастных препаратов [21, 37]. Под контрастными веществами в диагностике обычно понимают вещества, вводимые в объект исследования дополнительно для изменения контраста соседних участков изображения. Поскольку в МР-томографии три характеристики образца определяют интенсивность ЯМР-сигнала — протонная плотность, продольная и поперечная релаксация — рассмотрим возможности изменения этих характеристик.

Протонную плотность возможно изменить добавлением вещества, увеличивающего (вода как контрастное средство для полых органов, например, желудка) или уменьшающего количество протонов (перфтороктилбромид как заменитель воды в кишечнике). Возможно применение каких-либо гормональных средств, алкалоидов для изменения содержания воды в тканях (в силу очевидных побочных эффектов в диагностической практике их использование ограничено). Возможно введение веществ, содержащих в большом количестве другие ядра

с ненулевым спином, например, фторсодержащие соединения. Очень интересным и совершенно новым способом контрастирования является использование явления «гиперполяризации» некоторых инертных газов (^3He , ^{129}Xe), позволяющие исследовать дыхательные пути и лёгкие.

Поскольку изменение спиновой плотности легко осуществить лишь для полых органов, для диагностики мягких тканей в клинике обычно используются вещества, изменяющие релаксационные свойства тканей — пара-, супер- и ферромагнетики. В строгом смысле слова, их следует называть контрастирующими агентами, а не контрастными препаратами, поскольку они влияют на свойства окружающих тканей, а не дают сами какого-либо вклада в сигнал, тогда как контрастные средства или препараты обычно сами дают вклад в контраст изображения.

Тактика использования контрастных препаратов в МРТ. Вполне понятно, что МР-томография — прежде всего неинвазивный интравизионный метод диагностики. В подавляющем большинстве случаев он позволяет поставить диагноз без применения контрастных средств либо при использовании «примитивных» контрастирующих агентов: например использование воды и газообразующих соединений при исследовании верхнего отдела брюшной полости. Однако бывают «трудные» диагностические ситуации, когда все технологические возможности МР-томографа исчерпаны, а результат остаётся неудовлетворительным. Именно для этих ситуаций предназначены МР-контрастные препараты. В настоящее время на отечественном рынке доступны лишь Gd-содержащие препараты: omniscan (Nycomed), magnetist (Schering) и другие. На практике частота их применения зависит, прежде всего, от характеристики, тяжести и сложности контингента больных. В настоящее время в странах СНГ в большинстве

МР-томографических центров контрастные средства применяются не часто. Это объясняется как малой доступностью препаратов, так и их относительно высокой стоимостью, сравнимой по величине со стоимостью самого МРТ-исследования.

С другой стороны, в некоторых, наиболее активно использующих контрастные препараты, лабораториях частота их применения достигает 30—40 % и более (от всего количества пациентов). Более того, в мире ещё не выработаны единые подходы к их использованию, что сказывается на различиях в этом вопросе между национальными школами радиологов.

Наиболее взвешенным, по нашему мнению, является следующий подход. Когда после использования всех возможностей бесконтрастной МРТ не была достигнута визуализация патологического очага, но наличие косвенных клинических признаков последнего даёт право врачу МР-томографии мотивированно утверждать о необходимости применения МР-контрастирующего средства. Более того, имеются ситуации, когда использование контрастирующего препарата обязательно во всех случаях (при исследовании молочной железы даже в двойной дозировке). Имеются контрастные препараты-ферромагнетики типа *abdoscan* (Nucomed) — ферритные микросферы для контрастирования ЖКТ, а также органоспецифические препараты на основе марганца и диспрозия для контрастирования печени, ретикулоэндотелиальной системы, сердца и головного мозга. Однако последние являются пока ещё достаточно редко используемыми в клинической практике.

Препараты-парамагнетики, содержащие гадолиний, традиционно используются для верификации патологии головного мозга (особенно опухолей). Препарат проникает через повреждённый гематоэнцефалический барьер, распределяется во внеклеточной жидкости и контрастирует (визуализирует) места пора-

жения — патологические структуры, исходно имевшие МР-характеристики, близкие к нормальным окружающим тканям. При этом обследование наиболее результативно в первые 5 минут после инъекции. Эти средства используются для дифференциальной диагностики многих дегенеративных и объёмных процессов. Основная причина многообразия показаний — невозможность проведения биопсии визуализированного очага в головном мозге до операции. В этих ситуациях контрастное средство помогает улучшить визуализацию в 75 % случаев, дать уточняющую диагностическую информацию — в 71 % случаев, изменить диагноз — в 28 %, что исключительно важно для выбора лечения и прогнозирования исхода.

При патологии позвоночника использование Gd-препарата может оказаться необходимым (в основном на низкопольных МРТ-системах) при следующих ситуациях:

- поиск мелкоочаговых абсцессов и спондилитных очагов (асептических и инфекционных, в том числе туберкулёзной природы);

- выявление вторичной васкуляризации межпозвонкового диска;

- дифференциальная диагностика интрамедуллярной опухоли и очагов сирингомиелии и гидромиелии;

- дифференциальная диагностика интрадуральных экстрамедуллярных опухолей с кистозными структурами;

- поиск причины компрессионного синдрома спинного мозга и, особенно, корешков (при небольших опухолях в межпозвонковых отверстиях);

- поиск метастазов «капельного типа»;

- постоперационный рецидив грыжи межпозвонкового диска (дифференциальная диагностика с послеоперационным рубцом);

- дифференциальная диагностика экстрадуральной опухоли и секвестрированной грыжи межпозвонкового диска.

При патологии опорно-двигательного аппарата контрастное усиление иногда требуется в следующих случаях:

— дифференциальная диагностика воспалительного процесса (остеомиелита), перитуморального отека и опухоли кости;

— поиск и верификация метастазов опухолей в кости, в том числе и в позвоночник;

— поиск интрамедуллярных метастазов и опухолей;

— определение точных границ некроза и хронических изменений хрящевой ткани, абсцесса или кисты хряща (например, асептический некроз головки бедренной кости);

— верификация границ остеогенной саркомы;

— рабдомиосаркома мягких тканей (для дифференциальной диагностики с перитуморальным отеком);

— для выявления капсулы у доброкачественных опухолей.

При патологии органов брюшной полости (печень, селезенка, поджелудочная железа) Gd-препараты применяются достаточно редко, поскольку эти органы имеют высокую васкуляризацию и высокий уровень пенетрации жидкости из сосудистого русла в ткани, но тем не менее, введение препарата можно использовать в ситуациях:

— выявление злокачественных опухолей желчного пузыря и желчевыводящих протоков;

— дифференциальная диагностика очаговых поражений паренхиматозных органов, выявление мелких и крупных метастатических очагов;

— обнаружение внутриопухолевых очагов некроза;

— оценка гемодинамики и степени васкуляризации опухолей.

При патологии забрюшинного пространства (почки, надпочечники, лимфатические узлы), в основном при исследовании на низкопольной МРТ-системе, контрастирование используется для:

— дифференциальной диагностики между прилоханочной кистой и гидронефрозом (в поздние сроки, когда Gd начинает выводиться из кровеносного русла почками);

— дифференциальной диагностики между опухолью и кистой почки;

— ранней диагностики отторжения почечного трансплантата;

— визуализации границ опухоли, её структуры и взаимоотношения с окружающими органами и сосудами.

При патологии органов средостения и шеи Gd-препараты можно использовать:

— для визуализации инфаркта миокарда в подостром периоде с оценкой протяжённости и локализации зоны поражения;

— для изучения особенности перфузии миокарда, в том числе при фармакологических нагрузочных пробах;

— для визуализации границ объёмных образований средостения и шеи.

При патологии молочных желез препарат-парамагнетик вводится для дифференциальной диагностики между доброкачественными и злокачественными образованиями; при этом чувствительность достигает 95 %, специфичность — 86 %, вероятность — 93 % (для достижения «устойчивого» результата рекомендуется контрастирование с применением двойной дозы препарата).

При патологии области малого таза (мочевой пузырь, половые органы, прямая кишка, диафрагма таза), особенно при использовании низкопольной МРТ-системы, показаниями для применения препаратов-парамагнетиков являются:

— все опухолевые процессы мочевого пузыря, уретры, простаты и прямой кишки для оценки размеров опухоли, степени её инвазии, степени её кровоснабжения, для отграничения её от окружающих структур;

— для уточнения степени метастатического поражения регионарных и отдалённых лимфатических узлов с помощью непрямого лимфотропного введения;

— рак матки (для уточнения глубины опухолевой инвазии и стадии процесса);

— овоимплантация — оценка эндометриальных васкулярных изменений (с динамическим повтором в течение эндогенного менструального цикла).

Можно заключить, что МР-томография в России приобретает достаточную популярность как среди врачей-профессионалов, так и среди населения. Этому способствовали безвредность метода, его неинвазивность и высокая диагностическая информативность. В целом принципы диагностической стратегии при использовании МР-томографии требуют строгого логического подхода к каждому пациенту при назначении, проведении и при составлении заключения по результатам МР-томографии, а затем и при интерпретации полученного заключения врачом-специалистом. Только при соблюдении этих условий будут возможны более точная диагностика, меньшие затраты времени и меньшая стоимость исследований. Во многих областях медицины, как показывает опыт, эти три цели достижимы при грамотном использовании МР-томографии.

Прогресс МР-томографии зависит прежде всего от обновления парка МР-томографов, что связывается с повышением напряжённости магнитного поля, улучшением показателей его равномерности, увеличением чувствительности и точности приёмо-передающих блоков, ускорением работы сервисных устройств и графических станций, улучшением математического и программного обеспечения. Можно надеяться, что лавинообразное тиражирование медицинских МР-томографов и появление специализированных малогабаритных моделей в скором будущем приведёт к значительному снижению цен на исследование и повышению его доступности (по аналогии с УЗИ), что сделает её,

по всей видимости, скрининговой диагностической методикой.

Активно разрабатываются методики функциональной МРТ-диагностики для оценки подвижности органов, объёмов кровотока, степени проницаемости сосудистых образований и перемещения биологических жидкостей. Много надежд в связи с этим возлагается на *in vivo* МР-спектроскопию, позволяющую количественно оценить содержание определённых метаболитов в конкретном анатомическом объёме, а также на МРТ-технологии визуализации источников биопотенциалов (в первую очередь в головном мозге и в сердечной мышце). На современных высокопольных приборах уже используются методики, позволяющие оценить диффузию молекул воды (МРТ-диффузно-взвешенные изображения) и капиллярную перфузию, что может быть полезно для диагностики повторных инфарктов миокарда и инсультов головного мозга. Более того, активно развивается интервенционная МР-томография (установка стентов, VC-фильтров, катетеров, проведение реканализации и эмболизации, и других подобных вмешательств под контролем специального «открытого» МР-томографа), что превратит её постепенно из чисто диагностической в лечебно-диагностическую (оперативную) технологию.

Одной из наиболее значительных проблем в развитии технологии МР-томографии сегодня является разработка методик визуализации кальциевых (нормальных и патологических) образований и «ячеистых» биологических структур (лёгкие, петли кишечника), что позволит сделать метод действительно универсальным.

Прогресс МР-томографии, безусловно, будет зависеть также от разработки новых контрастных веществ, как парамагнетиков, так и ферромагнетиков, специфических органотропных контрастных препаратов.

Обычно в МР-томографии детектируют сигнал ядерного магнитного резонанса термически поляризованных протонов, т. е. протонов, поляризованных самим магнитным полем, энергия которого для комнатных температур много меньше тепловой. Для низких (до 0,1—0,2 Тл) и для средних (0,5 Тл) величин постоянного магнитного поля это означает коэффициент поляризации порядка сотых долей процента и ограничивает сферу применения МР-томографа областями с высоким содержанием протонов (мягкие ткани). Между тем в самое последнее время появились успешные демонстрации возможности использования так называемых «гиперполяризованных» газов, прежде всего ^3He и ^{129}Xe , для целей МР-томографии. Идея метода заключается в использовании лазерной ориентации (накачки) атомов одного из щелочных металлов (например, рубидия) излучением перестраиваемых по частоте лазеров на красителях или полупроводниковых с последующим спиновым обменом с атомами инертных газов. Эта техника позволяет получить значительные количества поляризованного газа при давлениях, близких к атмосферному. Близкий к единице коэффициент поляризации (десятки процентов) даёт возможность детектировать ЯМР-сигнал от газов, т. е. от количеств вещества в тысячи раз меньших, чем в традиционной МР-томографии. Для этих целей ^3He выбран в связи с тем, что он нерастворим в воде (крови) и область его пребывания в организме ограничена полостью легких. Напротив, ^{129}Xe , имеющий высокую растворимость в крови, может оказаться необычайно полезным для исследования функциональных характеристик кровеносной системы.

Подобное качественно новое изменение техники поляризации значительно расширяет возможности МР-томографии. Появляются работы о наблюдении легких и легочных путей с помощью гиперполяризованного изотопа ^3He . Новая

диагностическая технология безвредна для организма, она позволит осуществлять прямую томографию легочных путей человека с высоким пространственным разрешением, может быть использована для массовых обследований и составит альтернативу обычной рентгеновской флюорографии.

Изменяются и принципы МРТ-визуализации: происходит переход от плоскостного многосрезового пакета изображений к динамическим трёхмерным базам данных, позволяющим реализовать виртуальную визуализацию (по типу виртуальной эндоскопии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bloch F., Hanson W. W., Packard M. Nuclear induction // *Phys. Rev.* 1946. Vol. 69. P. 127.
2. Purcell E. M., Torrey H. C., Pound R. V. Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid // *Phys. Rev.* 1946. Vol. 69. P. 37—38.
3. Дероум Э. Современные методы ЯМР для химических исследований. М., 1992.
4. Эмсли Дж., Финей Дж., Сатклиф Л. Спектроскопия ЯМР высокого разрешения. М., 1968.
5. Эрнст Р., Боденхаузен Дж., Вокан А. ЯМР в одном и двух измерениях. М., 1990.
6. Магнитный резонанс в медицине: Пер. с англ. / Под ред. П. А. Ринка. Oxford, 1993.
7. Damadian R. Tumor detection by nuclear magnetic resonance // *Science.* 1971. Vol. 171. P. 1151—1153.
8. Lauterbur P. C. // *Nature.* 1973. Vol. 190. P. 242.
9. Callaghan P. T. Principles of NMR microscopy. Oxford, 1991.
10. Magnetic resonance imaging / Ed. D. D. Stark, W. G. Bradley. St. Louis, 1988.
11. Hahn E. L. Spin Echoes // *Phys. Rev.* 1950. Vol. 89. P. 580—594.
12. Meiboom S., Gill D. Modified spin-echo method for measuring nuclear relaxation times // *Rev. Sci. Instrum.* 1958. Vol. 29. P. 688—691.
13. Woessner D. E. Effects of diffusion in NMR spin-echo experiments // *J. Chem. Phys.* 1961. Vol. 34. P. 2057—2061.
14. Carr H. Y., Purcell E. M. Effects of diffusion on free precession in NMR experiments // *Phys. Rev.* 1954. Vol. 94. P. 630—638.
15. Hennig J. Measurement of CSF flow using an interferographic MR technique based on the RARE-fast imaging sequence // *Magn. Reson. Imaging.* 1990. Vol. 8. P. 543—556.
16. Hennig J., Nauert A., Friedburg H. RARE imaging — a fast imaging method for clinical MR // *Magn. Reson. Med.* 1986. Vol. 3. P. 823—833.
17. Haase A., Frahm J., Matthaei K. D. // FLASH imaging — rapid NMR imaging using low flip angles // *J. Magn. Reson.* 1986. Vol. 67. P. 258—266.
18. Ernst R. R., Anderson W. A. Applications of FT spectroscopy to magnetic resonance // *Rev. Sci. Instrum.* 1966. Vol. 37. P. 93—98.
19. Woelk K., Rathke J. W. Composite 90 and 180 pulses to compensate for radiofrequency gradients in toroid

- detectors // J. Magn. Reson. 1995. Vol. 115. P. 106—115.
20. Hennig J. Echoes — how to generate, recognize, use or avoid them in MR-imaging sequences // Concepts in MR. 1991. Vol. 3. P. 125—143.
 21. Летягин А. Ю., Стрыгин А. В., Антонов А. О. Практическое руководство по использованию МР-томографической диагностики в клинической практике. Новосибирск, 1996.
 22. Якобсон М. Г., Подоплелов А. В., Рудых С. Б. и др. Введение в МР-томографию. Новосибирск, 1991.
 23. Bydder G. M., Steiner R. E., Young I. R. et al Clinical NMR Imaging of the Brain. 140 cases // Amer. J. Roentgenol. 1982. Vol. 139. P. 215—236.
 24. Тютин Л. А., Рохлин Г. Д., Дыскин Е. А., Неронов Ю. И. Использование магнитно-резонансной томографии в изучении центральной нервной системы // Морфология. 1994. Т. 106. № 4. С. 165—168.
 25. Sartor K. MR imaging of the skull and brain. Berlin, 1995.
 26. Crosby D., Turscy P., Davis W. Magnetic resonance angiography and stroke // Neuroimaging. 1992. Vol. 2. P. 509—531.
 27. Коновалов А. Н., Корниенко В. Н., Пронин И. Н. Магнитно-резонансная томография в нейрохирургии. М., 1997.
 28. Холин А. В. Магнитно-резонансная томография при заболеваниях центральной нервной системы. СПб, 1999.
 29. Брюханов А. В., Васильев А. Ю. Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний суставов. Барнаул, 2001.
 30. Кузина И. Р., Ахадов Т. А. Магнитно-резонансная томография травмы коленного сустава. Новосибирск, 2003.
 31. Беленков Ю. Н., Терновой С. К., Сеницин В. Е. Магнитно-резонансная томография сердца и сосудов. М., 1997.
 32. Clinical cardiac imaging / Ed. D. Douglas Miller. New York, 1988.
 33. Домбровский В. И. Магнитно-резонансная томография в диагностике опухолей и других заболеваний почек. М., 2003.
 34. Дударев А. Л., Шёлкопляс Э. Н., Винокуров В. Л., Горицкая И. В. Магнитно-резонансная томография в онкогинекологии // Вестник рентген. и радиол. 1992. № 1. С. 60.
 35. Фролов М. В., Шатов А. В. МР-томография в комплексной лучевой диагностике заболеваний органов женского малого таза // Магнитно-резонансная томография в медицинской практике: Мат. научно-практ. конференции. М., 1995. С. 68.
 36. Arrive L., Hricak H., Martin N. C. Pelvic endometriosis: Mr imaging // Radiology. 1989. Vol. 171. P. 687—692.
 37. Magnevist / Ed. Felix R. Blackwell Science, 1997.

Письмо в редакцию

В первом выпуске журнала Вестник НГУ (2004) была опубликована статья «Магнитно-резонансная лимфография — новый метод предоперационной оценки состояния лимфатической системы таза при ректальном раке».

Исправления. Работа выполнена на базе Новосибирского центра колопроктологии Муниципальной клинической больницы № 11, Международного томографического центра СО РАН, Новосибирского государственного университета. Авторами статьи являются Е. А. Рутковский, В. К. Якушенко, А. Ю. Летягин.

Авторы приносят извинения за допущенную неточность в первоначальной трактовке авторских сведений руководству и всему коллективу Международного томографического центра СО РАН и лично д-ру мед. наук, профессору А. Ю. Летягину.