

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**ГУ «РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ И ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА»**

А.Е. Филюстин, Г.Д. Панасюк, А.В. Доманцевич

**ОСНОВЫ МРТ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ**

Практическое пособие для врачей



Гомель, ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2018

УДК 616.-073.75-52-08(075.8)

***Составители:***

А.Е. Филюстин, врач рентгенолог, заведующий рентгеновским отделением ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека».

Г.Д. Панасюк, к.м.н., врач-эндокринолог ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека».

А.В. Доманцевич, врач-интерн, рентгеновского отделения ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека».

***Рецензенты:***

А.М. Юрковский, доцент, к.м.н., заведующий курсом лучевой терапии и лучевой диагностики кафедры терапии №3 УО «ГомГМУ».

М.Ф. Гапеенко, заведующий рентгеновским отделением ГОКОД.

Е.А. Слепцова, к.м.н., врач рентгенолог рентгеновского отделения ГУ «РНПЦ РМиЭЧ».

В пособии изложены основные сведения о принципах формирования МРТ-изображений, устройстве МР-сканера, процессе МРТ-сканирования и используемых импульсных последовательностях, преимуществах и недостатках МРТ по сравнению с рентгеновской компьютерной томографией, о биологическом действии магнитных полей и противопоказаниях к проведению МРТ, использовании контрастных веществ. Пособие предназначено для врачей общей практики, врачей лучевой диагностики, терапевтов, и других специалистов организаций здравоохранения, ординаторов и интернов по вышеуказанным специальностям, а также студентов медицинских университетов старших курсов.

Рекомендовано Ученым советом ГУ «РНПЦ РМиЭЧ» в качестве практического пособия для врачей от 5.12.2018г., протокол № 12.

УДК 616.-073.75-52-08(075.8)

© Составители: Филюстин А.Е.,  
Панасюк Г.Д.,  
Доманцевич А.В.  
© ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Перечень условных обозначений	4
Введение	5
1. Магнитно-резонансная томография в медицинской практике	6
2. Принципы формирования МРТ-изображений	10
3. Основные компоненты МР-сканера	11
4. Контраст МР-изображений и основные импульсные последовательности	15
5. Преимущества и недостатки МРТ по сравнению с КТ	18
6. Биологическое действие магнитных полей и противопоказания к МРТ	19
7. Использование контрастных веществ при МРТ	21
8. Заключение	23
Список используемой литературы	24

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВИ	—	взвешенные изображения
Гц	—	единица измерения частоты в Международной системе единиц (СИ)
ДВИ	—	диффузионно-взвешенная МРТ
ИП	—	импульсные последовательности
КВ	—	контрастное вещество
КТ	—	компьютерная томография
МРТ	—	магнитно-резонансная томографиям
РЧ	—	радиочастота
Тл	—	Тесла (единица измерения напряженности магнитного поля)
ЯМР	—	ядерно магнитный резонанс
TE	—	время эха
TR	—	время повторения

## ВВЕДЕНИЕ

Мировые тенденции в области медицинского оборудования в последние годы претерпели значительные изменения. В основном это вызвано необходимостью повышения качества диагностики, что приводит как к созданию новых высокоинформативных диагностических аппаратов, так и к совершенствованию традиционных технологий.

Современный уровень медицинской техники позволяет выявить структурные и функциональные изменения одного и того же органа с помощью устройств, имеющих различный принцип действия, при этом достоверность полученных данных будет сопоставима. В подобных условиях на первое место выходит информационная составляющая исследований.

Термин «томография» произошел от двух греческих слов:  $\tau\omicron\mu\omicron\varsigma$  – сечение и  $\gamma\rho\alpha\phi\omicron\varsigma$  – пишу и означает послойное исследование структуры различных объектов. Существует несколько видов томографии: рентгеновская, электронно-лучевая, магнитно-резонансная, позитронно-эмиссионная, ультразвуковая, оптическая когерентная томография и др. Но суть всех видов томографии одина: по суммарной информации (например, интенсивности на детекторах или интенсивности эхо-сигнала), полученной от некоторого сечения вещества, нужно определить локальную информацию, а именно плотность вещества в каждой точке сечения. Информативность и достоверность каждого из них зависит от целого ряда факторов, определяющих конечный результат исследования, в том числе и от принципа действия устройства. Один из самых высокоинформативных методов диагностики является МРТ (магнитно-резонансная томография). Данный метод используется не только в медицине для создания анатомических изображений с пространственным разрешением менее 1 мм, изучения потоков крови, перфузии, диффузии, функций органов, но и в области химии, физики, биологии и связанных с ними дисциплин.

## **1. Магнитно-резонансная в медицинской практике**

МРТ – метод получения томографических (послойных) изображений внутренних органов человека с использованием явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР). ЯМР – физическое явление, основанное на свойствах некоторых атомных ядер при помещении их в постоянное магнитное поле поглощать энергию в радиочастотном (РЧ) диапазоне и излучать ее после прекращения воздействия РЧ-импульса. При этом напряженность постоянного магнитного поля и частота РЧ магнитного поля должны строго соответствовать друг другу, в случае чего возникает резонанс. Помимо метода МРТ явление ЯМР используется в аналитической химии (ЯМР-спектроскопия). Ранее существовавшая аббревиатура ЯМР-томография в настоящее время не используется, поскольку слово «ядерный» ассоциируется с ядерной энергией, радиоактивностью или облучением, что не имеет к МРТ никакого отношения [1, 2].

Явление ЯМР в жидкостях и твердых телах открыли в 1946 г. независимо друг от друга американские исследователи Ф. Блох и Э. Пурселл, получившие за это в 1952 г. Нобелевскую премию по физике. В 1972 г. американец П. Лаутербур получил первое в мире двухмерное МР-изображение двух стеклянных капилляров, заполненных жидкостью. На получение этого изображения ушло 4 ч 45 мин. Первое МРТ-изображение человека (пальцы кисти) было представлено П. Мэнсфилдом в Лондоне в 1976 г. На сканирование уходило уже от 15 до 23 минут. За изобретение метода МРТ П. Лаутербуру и П. Мэнсфилду присуждена Нобелевская премия по медицине в 2003 году.

Вклад в развитие метода внес американец Р. Дамадьян, который в 1974 г. получил патент «Аппаратура и метод обнаружения раковой ткани». Р. Дамадьян измерил время релаксации удаленных образцов нормальных и раковых тканей у мышей и пришел к заключению, что опухоли имеют более длительные по времени релаксации. С начала 1980-х годов МР-томографы стали использоваться для исследований всего тела человека [3, 4].

Показания к МРТ.

Приказ Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 16.09.2011г. № 902 «Об утверждении показаний к рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии»

1. МРТ головы: аномалии развития головного мозга, подозрение на наличие патологических объемных образований в полости черепа, подозрение на рецидив или продолженный, рост опухоли после хирургического или комбинированного лечения, травматическое повреждение головного, мозга нарушение мозгового кровообращения (ишемический, геморрагический инсульты, субарахноидальное кровоизлияние), гидроцефалия и контрольные исследования после шунтирующих операций, подозрение на сосудистые мальформации, аневризмы мозговых сосудов, демиелинизирующие заболевания головного мозга, инфекционные заболевания головного мозга, патологические образования орбит, рото- и носоглотки, придаточных пазух, носа, слюнных желез.

2. МРТ позвоночника: врожденные аномалии, подозрение на наличие опухолей и метастазов, сирингомиелия и кисты различной этиологии, демиелинизирующие, воспалительные и сосудистые заболевания спинного мозга, миелопатия любой этиологии, дегенеративные и воспалительные заболевания позвоночника: позвонков и межпозвонковых дисков травмы в остром, подостром и отдаленных периодах, контроль оперативного или комбинированного, лечения патологических изменений позвонков, межпозвонковых дисков и спинного мозга.

3. МРТ костно-суставной и мышечной систем: подозрение на повреждение связочного аппарата суставов (воспалительное, травматическое), уточнение локализации и характера распространения патологических изменений (новообразования, воспалительные и травматические процессы) костной мышечной тканей, дегенеративные изменения суставов, контроль после реконструктивных операций на мышцах и связках.

4. МРТ органов средостения: подозрение на аномалии развития и патологические изменения грудной аорты и ее ветвей (расслаивающая аневризма, коарктация аорты и др.) уточнение локализации и распространения патологических образований органов средостения и грудной полости, контроль результатов оперативного лечения.

5. МРТ органов брюшной полости, забрюшинного пространства, малого таза: аномалии развития органов брюшной полости и малого таза, подозрение на аномалии развития и патологические изменения магистральных сосудов брюшной полости и их ветвей, уточнение локализации и распространения патологических образований органов брюшной полости, забрюшинного пространства и малого таза на окружающие ткани и сосудистые структуры для выбора оптимального метода лечения, контроль результатов оперативного лечения.

6. Магнитно-резонансная урография (уточнение состояния чашечно-лоханочной системы, мочеточников, мочевого пузыря, выявление "дефектов наполнения", блоков мочевыводящих путей и определение их характера, альтернатива рентгеновской урографии у пациентов с анафилактоидной реакцией на йодсодержащие препараты, при печеночной и почечной недостаточности, в педиатрической практике).

7. Магнитно-резонансная холангиография (уточнение состояния внутрипеченочных и внепеченочных желчных протоков, альтернатива рентгеновской холангиографии у пациентов с анафилактоидной реакцией на йодсодержащие препараты, при печеночной и почечной недостаточности, в педиатрической практике, уточнение уровня и характера механической желтухи).

8. МРТ сердца (уточнение анатомо-топографических соотношений, исследование аномалий развития сердца (аномальные протоки, клапанные пороки), определение состояния сосудов дуги аорты и легочных артерий, уточнение характера изменений коронарных артерий при ишемической болезни сердца, опухолевые процессы интра-, экстра- и паракардиальной локализации).



9. Магнитно-резонансная ангиография (врожденные и приобретенные заболевания сосудов всех бассейнов человеческого организма (сосудистые мальформации, аневризмы, стенотические поражения и др., количественное определение кровотока и его направления, альтернатива рентгеновской ангиографии у пациентов с анафилактической реакцией на йодсодержащие препараты, при печеночной и почечной недостаточности, в педиатрической практике).

10. Магнитно-резонансная спектроскопия (дифференциальная диагностика заболеваний головного мозга, дифференциальная диагностика заболеваний предстательной железы; молочной железы, печени, мышц, др. органов, оценка нарушения метаболизма миокарда при атеросклерозе, дислипидемиях, метаболическом синдроме).

11. Магнитно-резонансная трактография (диагностика врожденных заболеваний головного мозга, локализация поражения функционально значимых проводящих путей головного, оценка поражений трактов при опухолевых процессах головного мозга, планирование хирургических вмешательств).

12. Диффузионно-взвешенный имиджинг (оценка гипоксическо-ишемического поражения головного мозга, выявление метастазов в лимфатические узлы, оценка эффективности проводимой противоопухолевой терапии, ранняя диагностика воспалительных процессов различной локализации).

13. Функциональная МРТ: картирование коры головного мозга, определение индивидуальных особенностей локализации двигательных и речевых центров головного мозга, планирование хирургического вмешательства или радиотерапевтического воздействия с целью сохранения функционально важных зон коры головного мозга, оценка эффективности проведенного лечения, оценка реорганизации коры после перенесенных инфарктов головного мозга.

14. МР-маммография: диагностика узловых образований молочной железы, диагностика, дифференциальная диагностика, доброкачественных и

злокачественных образований молочной железы, определение стадии рака молочной железы, оценка состояния имплантов молочной железы, их разрывов, рубцовых и воспалительных изменений при протезировании молочных желез.

В настоящее время МРТ является одним из основных томографических методов лучевой диагностики в медицине, во многих случаях превосходящим рентгеновскую компьютерную томографию (КТ) по диагностической эффективности.

Без применения контрастирующих веществ рентгенография недостаточно информативна для анализа изменений в мягких тканях, мало отличающихся по плотности (например, при изучении органов брюшной полости).

## **2. Принципы формирования МРТ-изображений**

Метод МРТ основан на измерении отклика атомов водорода на возбуждение их определенной комбинацией электромагнитных волн (РЧ-импульсами) в постоянном магнитном поле [3]. Почему в клинической МРТ основную роль в формировании изображений играет водород? Для этого имеются две основные причины: 1) большая распространенность водорода в организме человека – он входит в состав молекул воды ( $H_2O$ ), из которой на 2/3 состоит тело человека, а также в состав белков, жиров и углеводов (химические группы  $CH_2$  и др.); 2) большой магнитный момент, то есть способность выстраиваться вдоль внешнего магнитного поля. Ядро атома водорода состоит из заряженной частицы (протона) и нейтральной частицы (нейтрона). Положительно заряженный протон обуславливает наличие у водорода магнитных свойств.

*Формирование МРТ-изображения включает следующие основные этапы:*

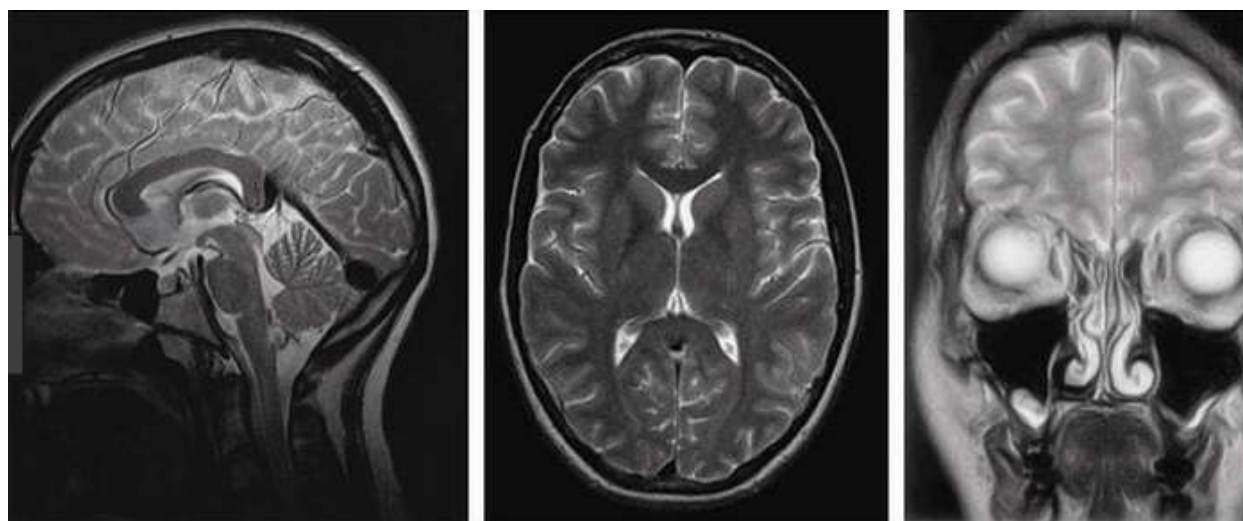
1. Сканируемый объект помещается во внешнее постоянное магнитное поле, в котором протоны водорода приобретают продольную, то есть совпадающую по направлению с внешним магнитным полем, намагниченность.

2. В объект подаются кратковременные РЧ-импульсы, обуславливающие отклонение намагниченности в заданную плоскость. В типичном случае

используют  $90^\circ$  РЧ-импульс, отклоняющий намагниченность в поперечную плоскость.

3. После прекращения воздействия РЧ-импульса намагниченность начинает возвращаться в исходное положение, что называют релаксацией. При этом сканируемым слоем испускается РЧ-сигнал, улавливаемый МР-сканером и преобразуемый в изображение.

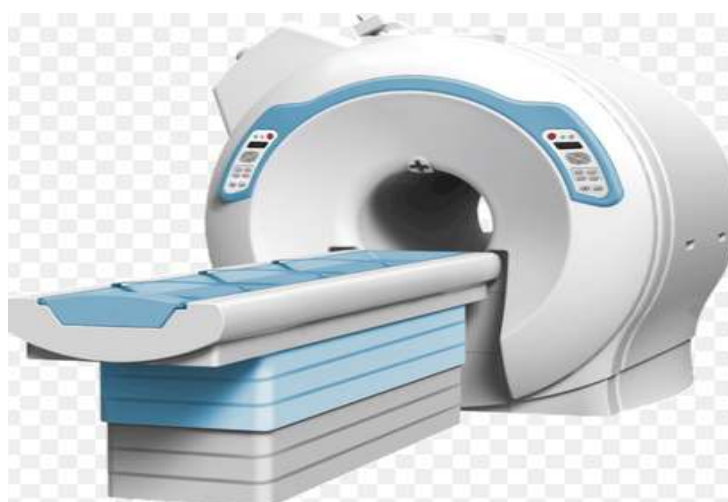
Кроме постоянного и РЧ магнитного полей в МРТ используют еще одно магнитное поле – градиентное. Оно служит для выделения слоя – выбора плоскости сканирования и толщины среза. В отличие от КТ, при которой томограмму можно получить только в плоскости механически вращающихся вокруг пациента рентгеновской трубки и детектора излучения (в большинстве случаев это трансверсальная плоскость), при МРТ плоскость сканирования определяется направлением приложения градиентного магнитного поля и может быть любой – или наклоненной к ним (рис. 1) [5].



**Рисунок 1. – Трансверсальная, сагиттальная, коронарная плоскости сканирования головного мозга**

### **3. Основные компоненты МР-сканера**

Основными компонентами МР-сканера являются магнит, радиочастотная и градиентная системы, стол пациента и компьютер для управления процессом сканирования и реконструкции изображений (рис. 2) [2].



**Рисунок 2. – Закрытый магнит и стол пациента**



**Рисунок 3. – Радиочастотная головная катушка, компьютер**

Магнит создает внешнее постоянное магнитное поле, основной характеристикой которого является напряженность или сила, выражаемая в Теслах (Тл). По силе магнитного поля МР-томографы разделяют на низкопольные (менее 0,5 Тл), среднепольные (0,5-1,0 Тл), высокопольные (1,0-2,0 Тл) и сверхвысокопольные (более 2,0 Тл). В клинической практике наиболее распространены томографы с напряженностью 1,5 Тл, которые в настоящее время считаются оптимальными по соотношению качества изображений, функциональных возможностей сканера и цены. Все более распространенными становятся сканеры с напряженностью 3 Тл. В последние годы началась клиническая эксплуатация аппаратов с напряженностью 7 Тл (рис. 3).



**Рисунок 4. – Сканер с напряженностью 7 Тл**

Преимуществом сверхвысокопольных сканеров является более высокая детализация изображений, что особенно важно для нейровизуализации. К недостаткам относится увеличение количества энергии, передаваемой сканируемому объекту, что требует соблюдения определенных предосторожностей. Кроме этого, сложнее создать полную однородность магнитного поля, что может снизить качество изображений при некоторых исследованиях (например, с подавлением сигнала от жира).

В зависимости от конструкции магниты разделяют на закрытые (см. рис. 2) и открытые (рис. 5). В первом случае томограф имеет туннель, в который помещается сканируемый объект в положении лежа.

Преимуществом открытых магнитов является отсутствие туннеля, что делает условия сканирования более комфортными для пациента и позволяет проводить интервенционные вмешательства.



**Рисунок 5. – Сканер открытого типа**

Одна из разновидностей МР-сканеров с магнитом открытого типа позволяет проводить обследование пациента в положении сидя или стоя, то есть в условиях физиологической нагрузки на позвоночник. Недостаток открытых магнитов – меньшая напряженность магнитного поля (в настоящее время не более 1,2 Тл). С технической точки зрения магниты бывают постоянного, резистивного и сверхпроводящего типов. В высокопольных МР-сканерах используются магниты сверхпроводящего типа, предусматривающие охлаждение жидким гелием.

РЧ и градиентные магнитные поля создаются с помощью специальных приспособлений, называемых катушками. РЧ-катушки отвечают за передачу и прием из сканируемого объекта РЧ-сигналов. Для сканирования определенной анатомической зоны используют специально предназначенные для нее РЧ-катушки, которые могут быть съемными (например, для сканирования головного мозга, брюшной полости, коленного сустава) или встроенными в стол пациента (для сканирования позвоночника) или в обшивку магнита (для сканирования всего тела). Градиентные катушки встроены в обшивку магнита.

#### 4. Контраст МР-изображений и основные импульсные последовательности

В отличие от КТ, при которой плотность тканей может быть измерена в единицах Хаунсфилда, при МРТ говорят об интенсивности сигнала, которую не принято оценивать количественно, так как она существенно варьирует в зависимости от большого количества факторов [2, 4]. Интенсивность сигнала (контраст тканей) в МРТ определяется в основном четырьмя параметрами:

- 1) протонной плотностью (количество протонов в исследуемой ткани);
- 2) временем продольной релаксации тканей (обозначается как время T1);
- 3) временем поперечной релаксации тканей (время T2);
- 4) движением или диффузией исследуемых структур.

Каждое МР-изображение характеризуется контрастностью, обусловленной как протонной плотностью, так и T1- и T2-релаксацией. В зависимости от их соотношения говорят о T1-взвешенных изображениях (T1-ВИ), T2-взвешенных (T2-ВИ) или об изображениях, взвешенных по протонной плотности (PD), которые также называют средневзвешенными.

Специально разработанные импульсные последовательности (ИП) определяют вклад того или иного параметра в интенсивность сигнала изображения для получения оптимального контраста между нормальными и патологическими тканями [6]. ИП – это набор радиочастотных и градиентных импульсов заданной формы, амплитуды и интервала между ними, многократно повторяемых во время сканирования и определяющих контраст МР-изображений. Другими словами, ИП – это компьютерная программа, управляющая МР-сканером в процессе сканирования.

Основными техническими параметрами ИП являются время повторения (TR), время эха (TE), время инверсии (TI), угол отклонения.

Используемые в клинической практике ИП можно схематически разделить на следующие группы:

- спин-эхо;
- турбоспин-эхо – быстрое спин-эхо;
- градиентное эхо – еще более быстрые ИП;

- инверсия-восстановление:
  - FLAIR – подавление сигнала от свободной жидкости (темная жидкость);
  - STIR – подавление сигнала от жира (темный жир);
- МР-ангиография (МРА):
  - **бесконтрастная** (без внутривенного (в/в) введения контрастного вещества (КВ)):
    - времяпролетная МРА (ToF-МРА)* –

при проведении времяпролетной ангиографии используется импульсная последовательность градиентное «эхо» с коротким TR (временем спин-релаксации). Срезы формируются перпендикулярно направлению тока крови. Высокий сигнал текущей крови – это результат втекания в срез спинов (векторов), не подавленных между радиочастотными возбуждениями. Подавленные неподвижные спины подвергаются неполной релаксации между РЧ-возбуждениями, давая меньший сигнал.

    - фазовоконтрастная МРА* –

фазоконтрастная ангиография позволяет визуально оценить скорость кровотока; сигнал содержит как амплитудную, так и фазовую информацию. Фазоконтрастная ангиография в 4 раза медленнее TOF.
  - **контрастная:** (с в/в введением КВ (контрастно-усиленная МРА)) – используется для диагностике патологии сосудов с болюсным введением контрастных средств, позволяющие за короткое время получить важную диагностическую информацию [6];
- эхопланарная визуализация – сверхбыстрые ИП:
  - диффузионно-взвешенная МРТ (диффузионно-взвешенное исследование – ДВИ) и ее разновидность – диффузионная тензорная МРТ (трактография);
  - перфузионная МРТ – с болюсным в/в контрастным усилением;
  - функциональная МРТ (фМРТ);
- МР-спектроскопия (МРС):
  - одновоксельная; мультивоксельная.



Для того чтобы отличить T2-ВИ от T1-ВИ можно использовать следующие способы.

Во-первых, на T2-ВИ вода имеет повышенный сигнал (белая), а на T1-ВИ – сниженный (темная). Обычно оценивают интенсивность сигнала спинномозгового ликвора.

Во-вторых, можно обращать внимание на значения параметров TR и TE. Так, при использовании спинэховых и турбо-спинэховых ИП эти параметры обычно составляют для T2-ВИ – TR более 1600 мс, TE более 60 мс; для T1-ВИ – TR 300-600 мс, TE 10-20 мс; для изображений протонной плотности – TR более 2000 мс, TE 20 мс.

*Считается, что T2-ВИ по своей контрастности наиболее информативны для выявления патологии – большинство опухолей имеют повышенное содержание воды и поэтому на T2- ВИ характеризуются повышенным сигналом.*

T1-ВИ позволяют установить серозную (сниженный сигнал) или геморрагическую (в подостром периоде – повышенный сигнал) природу жидкостных образований, а также используются для оценки контрастного усиления после в/в введения содержащих гадолиний КВ. Изображения протонной плотности хорошо визуализируют суставной хрящ и наиболее широко используются при МРТ суставов [6].

МРТ-сканирование обычно включает получение T2-ВИ и T1-ВИ в одной или нескольких плоскостях, при необходимости – T1-ВИ после в/в введения КВ и ряд дополнительных ИП. Получение каждой серии изображений занимает от 1 до 7 мин, в среднем – 2-3 мин. В итоге общая длительность МРТ-сканирования составляет в среднем 20-40 мин, а в некоторых случаях может достигать 1 час и более. Необходимо отметить, что контрастная разрешающая способность, пространственная разрешающая способность (толщина среза) МР-изображений и длительность сканирования имеют обратную связь друг с другом – так называемый Бермудский треугольник. Это означает, что для получения более контрастных и трехмерных (тонкие срезы) изображений требуется больше

времени. Поэтому до начала МРТ-исследования необходимо четко понять стоящие перед ним задачи, чтобы определить оптимальный с точки зрения качества изображений и длительности сканирования протокол исследования.

## **5. Преимущества и недостатки МРТ по сравнению с КТ**

Как и КТ, МРТ является неинвазивным томографическим методом лучевой диагностики. К преимуществам МРТ относятся:

- более высокая контрастная разрешающая способность. Например, при МРТ очаги в головном мозге нередко визуализируются лучше, чем при КТ; фибромиома матки при КТ не отличается по плотности от тканей матки, при МРТ – имеет сниженный сигнал на T2-ВИ и четко визуализируется; суставной хрящ хорошо визуализируется на МРТ-изображениях в отличие от КТ;

- отсутствие ионизирующего излучения, что позволяет проводить МРТ всего тела и повторять исследование в динамике, что особенно важно в онкологии для стадирования злокачественных опухолей и оценки эффективности лечения;

- отсутствие артефактов от костной ткани – преимущество при оценке базальных отделов головного мозга;

- естественный контраст от движущейся крови – исследование сосудов без в/в контрастирования;

- исследование функции органов: измерение скорости кровотока, уровня диффузии в тканях с помощью ДВИ, метаболизма тканей с помощью МРС, визуализация активации коры головного мозга с помощью функциональной МРТ.

Одним из преимуществ МРТ ранее считали возможность сканирования в любой плоскости, а не только в аксиальной, как при КТ. Однако с появлением многосрезовых КТ-сканеров стало возможным получение тонких аксиальных КТ- срезов с последующей реконструкцией изображений в любой плоскости.

К основным недостаткам МРТ по отношению к КТ относятся:

- более длительное сканирование, что может стать причиной двигательных артефактов и снижает пропускную способность аппарата;
- недостаточная визуализация легочной ткани – воздух не создает МР-сигнала, но визуализируется легочный интерстиций;
- невозможность надежного выявления кальцификатов, некоторых видов патологии костных структур – кальций не дает МР-сигнала, визуализируется костный мозг, а не костная ткань;
- подверженность МР-изображений артефактам, в том числе за счет неоднородности магнитного поля;
- невозможность обследования пациентов с клаустрофобией, искусственными водителями сердечного ритма, наличие других противопоказаний;
- высокая стоимость оборудования и его эксплуатации.

***Таким образом, МРТ имеет преимущества перед КТ при визуализации головного и спинного мозга, органов таза, суставов [6, 7].***

При патологии легких, для диагностики ряда заболеваний костных структур, а также у пациентов, которые не могут длительно и осознанно соблюдать неподвижность во время сканирования, предпочтительнее выполнять КТ. При МРТ брюшной полости может потребоваться многократная задержка дыхания, в случае неспособности пациента ее выполнять информативность исследования значительно снижается. При выборе метода обследования необходимо учитывать и другие факторы, такие как длительность сканирования и доступность соответствующего оборудования.

## **6. Биологическое действие магнитных полей и противопоказания к МРТ**

Процесс получения ЯМР сигнала состоит из нескольких шагов, первый из которых – обеспечение безопасности людей. Хотя в МРТ не используется ионизирующее излучение, существуют важные положения о безопасности, которые необходимо знать. К ним относятся использование сильных магнитных

полей, РЧ излучения, переменных магнитных полей, криогенных жидкостей и градиентов магнитного поля [8].

Энергия, передаваемая объекту электромагнитным излучением, пропорциональна его частоте. Используемые в МРТ радиоволны имеют частоту порядка 10<sup>7</sup> Гц, в то время как рентгеновское излучение – в диапазоне 3·10<sup>16</sup> Гц – 3·10<sup>19</sup> Гц. Из этого следует, что рентгеновские лучи передают тканям гораздо больше энергии, чем радиоволны, частота которых даже ниже, чем у видимого света. В этой связи метод МРТ считается безопасным для человека, однако имеет ряд ограничений. Магнитное поле сканера с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл в 30 000 раз сильнее магнитного поля Земли, но ниже чем магнитное поле в электроустройствах (например, на поверхности приемника телефона поле составляет 35 Гс, в аудио наушниках 100 Гс, в метро – 7 Гс). Поэтому МРТ *противопоказана* при наличии у пациента кардиостимулятора (его работа может нарушаться с потенциальной угрозой для жизни) и других электронных имплантированных устройств, ферромагнитных интракраниальных аневризмальных клипс, инородных металлических тел в орбитах (угроза смещения и повреждения тканей) [9, 10].

Не рекомендуется проводить МРТ в первые 3 месяца беременности по причине неизученности возможного влияния на плод.

Несъемные металлические зубные коронки, протезы суставов, немагнитные (титановые, танталовые, из нержавеющей стали, биосовместимые) стенты и аневризмальные клипсы не опасны для проведения МРТ спустя 2-4 нед после их установки. С осторожностью при наличии татуировок, выполненных с помощью красителей с содержанием металлических соединений. Вместе с тем металлические имплантаты, находящиеся в зоне сканирования, вызывают артефакты, создающие сложности для интерпретации результатов исследования. МРТ невозможно провести при наличии у пациента боязни замкнутого пространства (клаустрофобия), которая встречается не более чем у 4% населения. У маленьких детей (обычно в возрасте до 5 лет) исследование проводится в состоянии медикаментозного сна.

К другим возможным негативным эффектам используемых в МРТ магнитных полей относятся [8]:

- кратковременное головокружение, металлический привкус во рту во время или сразу после сканирования – обычно не возникают при напряженности магнитного поля менее 3 Тл;

- локальное повышение температуры тканей – не возникает при соблюдении рекомендации по параметру «норма специфической абсорбции» (SAR);

- стимуляция периферических нервов с непроизвольными сокращениями мышечных волокон – практически не встречается на сканерах с напряженностью поля 1,5 Тл;

- сильный шум в процессе сканирования, обусловленный нормальной работой аппарата [7, 10].

Перед началом исследования пациент заполняет анкету с вопросами о возможных противопоказаниях. Снимаются любые металлические украшения, предметы и элементы одежды. Другой специальной подготовки к МРТ обычно не требуется.

## **7. Использование контрастных веществ при МРТ**

При МРТ используют КВ на основе редкоземельного элемента гадолиния (омнискан, магневист, оптимарк, гадовист и др.), которые вводят струйно в локтевую вену в дозе 0,2 мл/кг массы тела пациента (гадовист – 0,1 мл/кг). В ряде случаев, например, при перфузионной МРТ и МРТ молочных желез, рекомендуется болюсное введение, то есть с помощью автоматического инжектора.

После в/в введения препарат проникает через поврежденный гематоэнцефалический барьер (при злокачественных опухолях, ишемии, инфекционно-воспалительных и демиелинизирующих заболеваниях головного мозга), а также накапливается в нормальных и патологических экстракраниальных тканях.

Для оценки контрастного усиления проводят сканирование с использованием T1-ВИ, на которых патологические образования приобретают повышенный сигнал. В онкологии использование МР-КВ играет важную роль как при определении распространенности опухолевого процесса, так и при контроле эффективности лечения [11]. У беременных женщин использование содержащих гадолиний КВ допускается лишь в случае крайней необходимости, поскольку КВ проникает через плаценту и может накапливаться в амниотической жидкости. У кормящих грудью женщин ограничения для в/в контрастирования при МРТ не установлены [10, 11].

Еще одной группой МР-КВ являются наночастицы железа оксида. Показана высокая эффективность их использования для диагностики метастазов в лимфатических узлах. В отличие от гадолиниевых препаратов частицы железа оксида вызывают снижение сигнала от нормальных тканей лимфоузла на T2-ВИ. В настоящее время данные препараты не представлены на рынке.

Как отмечалось выше, МРТ является нерадиационным безопасным методом обследования пациентов, что с учетом высокой контрастной разрешающей способности делает его весьма подходящим для сканирования всего тела, особенно в онкологии [7].

Программа сканирования всего тела может отличаться в зависимости от технических возможностей МР-сканера, опыта и предпочтений врача-диагноста, но обычно включает T2-ВИ и T1-ВИ в коронарной плоскости, диффузионно-взвешенные магнитно-резонансные изображения (ДВИ) в трансверсальной плоскости. Преимущество ДВИ особенно очевидно у онкологических пациентов – первичные и метастатические злокачественные опухоли имеют повышенный сигнал на фоне подавления сигнала от нормальных тканей, что делает ДВИ-изображения подобными на изображения позитронной эмиссионной томографии. При ДВИ не требуется в/в введение КВ, то есть методика является абсолютно неинвазивной.

## **8. Заключение**

МРТ является высокоинформативным и безопасным томографическим методом лучевой диагностики. По сравнению с КТ метод имеет ряд существенных преимуществ, обуславливающих более широкое его использование в клинической практике. Грамотное применение МРТ требует учета показаний и противопоказаний, а также адаптации протокола сканирования в соответствии с конкретной клинической задачей. Достаточно новой высокоинформативной методикой МРТ является ДВИ. Высокая контрастная разрешающая способность и отсутствие ионизирующего излучения делают метод МРТ-ДВИ особенно подходящим для исследования всего тела.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Magnetic resonance scanner for imaging of extremities [Электронный ресурс] – 2018. – Режим доступа: <http://all-sales.ucoz.ru>. – Дата доступа: 18.06.2018.

2. Протонная магнитнорезонансная спектроскопия головного мозга в диагностике рассеянного склероза / А.А. Богдан [и др.] // – Лучевая диагностика и терапия. – 2012. – № 3. – С. 27-34.

3. МРТ или ЯМРТ – немного истории [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: <https://medsyst.ru/publications/mrt-history.html>. – Дата доступа: 18.06.2018.

4. Damadian, R. Tumor detection by nuclear magnetic resonance / R. Damadian // Science. – 1971. – Vol. 171. – P. 1151-53.

5. Основы МРТ, Глава 1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/chap-1/chap-1-r.htm>. – Дата доступа: 18.06.2018.

6. Методы лучевой диагностики и информационные технологии в клинической практике. Магнитно-резонансная томография / Иванов В.А. и др. СПб.: МАПО, 2001. – С.39.

7. Хоружик, С.А. магнитно-резонансная томография в медицинской практике / С. А. Хоружик // Здоровоохранение. – 2016. – № 8. – С. 14–18.

8. Schaefer, D.J., Bourland, J.D., Nyenhuis, J.A. Review of patient safety in timevarying gradient fields / D.J. Schaefer, J.D. Bourland, J.A. Nyenhuis // Journal of magnetic resonance imaging. – 2000. – Vol. 12. – P. 20–29.

9. Shellock, F.G. Magnetic resonance safety update 2002: implants and devices / F.G. Shellock // Journal of magnetic resonance imaging. – 2002. – Vol. 16. – P.485–496.

10. Shellock, F.G. Metallic neurosurgical implants: evaluation of magnetic field interactions, heating, and artifacts at 1.5-Tesla / F.G. Shellock // Journal of magnetic resonance imaging. – 2001. – Vol. 14. – P. 295–299.



11. Сравнение результатов магнитно-резонансной спектроскопии при различных параметрах сканирования [Электронный ресурс] – 2014. – Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/4320.pdf/download/4320.pdf>. – Дата доступа: 18.06.2018.