

Министерство здравоохранения Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»

Кафедра лучевой диагностики с курсом ФПКиП

Авторы:

М.А. Лихачевская, ассистент

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для проведения практического занятия
по учебной дисциплине
Медицинская визуализация

для студентов 5 курса медико-диагностического факультета, обучающихся
по специальности 1-79 01 04 «Медико-диагностическое дело»

Тема 1.2: «Методы и средства лучевой диагностики. Метод магнитно-резонансной томографии»

Время: 6 часов

Утверждены на заседании кафедры лучевой диагностики с курсом ФПКи П
(протокол от №1) 28.08.2025.

Учебная цель:

- формирование у студентов профессиональных компетенций, необходимых для решения диагностических задач путем применения метода МРТ при заболеваниях разных органов и систем;
- формирование у студентов знаний о лучевой семиотике наиболее распространенных заболеваний человека и принципах органно-комплексного применения метода МРТ;
- уметь проводить базовую сердечно-легочную реанимацию и иные реанимационные мероприятия в случае возникновения осложнений при применении контрастных веществ.

Воспитательная цель:

- развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны;
- научить соблюдать учебную и трудовую дисциплину, этико-деонтологические нормы и правила в диагностическом процессе;
- уметь применять основные модели взаимодействия врача и пациента;

Задачи практического занятия:

1. Изучить организацию работы кабинета МРТ.
2. Изучить меры охраны труда при диагностическом использовании МРТ.
3. Изучить структурную схему и основные элементы аппарата МРТ.
4. Противопоказания к проведению МРТ.
5. Изучить способы получения и регистрации МР-изображений. Научиться анализировать самые простые последовательности получения изображений: определять объект исследования, субстраты с различной интенсивностью МР-сигнала.
6. Ознакомиться с понятием T1-, T2-взвешенные изображения.
7. Ознакомиться с записью изображения на диски и открывать диски.
8. Основные последовательности при проведении МРТ исследований.
9. Изучить способы искусственного контрастирования различных органов при МРТ исследованиях.
10. Оказание первой помощи при возникновении реакций на введение контраста
11. Ознакомиться с основными показаниями для проведения МРТ

В результате проведения учебного занятия студент должен знать:

- лучевую анатомию и лучевую семиотику наиболее распространенных заболеваний человека;

- принципы органно-комплексного применения МРТ , КТ и других рентгенологических методов лучевой диагностики;
- реакции и осложнения при применении контрастных веществ, а также меры по предотвращению и лечению местных/системных реакций и осложнений.

уметь:

- определять показания и противопоказания к МРТ исследованию при наиболее распространенных заболеваниях человека;
- подготавливать пациента к МРТ исследованию при основных распространенных заболеваниях;
- интерпретировать результаты МРТ исследования;
- оказать первую помощь при острых побочных реакциях на введение контрастных веществ

владеть:

- навыками выбора МРТ , КТ или других рентгенологических методов визуализации при разных заболеваниях;
- навыками подготовки пациентов к лучевым исследованиям при наиболее частых заболеваниях;
- навыками интерпретации результатов МРТ исследования и, при необходимости, построения схемы дообследования при основных распространенных заболеваниях;
- навыками оказания первой помощи при возникновении острых побочных реакций на введение контрастных веществ.

Мотивация для усвоения темы: рейтинговая система оценки знаний

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

Диски с записью МРТ исследований, электронные средства демонстрации иллюстративного материала (интерактивная доска, телевизор, проектор), ультразвуковые сканеры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗ СМЕЖНЫХ ДИСЦИПЛИН

«Анатомия человека»:

- нормальная анатомия
- половые и возрастные особенности

Контрольные вопросы:

1. Что такое ядерно-магнитный резонанс, суть метода.
2. Основные этапы развития и использование МРТ в медицине.
3. МРТ. Принцип получения изображений, основные этапы получения изображения.
4. Разновидности МРТ аппаратов, постоянные и резистивные магниты.
5. Организация работы кабинета МРТ.

6. Основные последовательности, используемые в диагностике. Понятие о T1-, T2-взвешенных изображениях.
7. Преимущества МРТ изображений, отличие от обычного рентгенологического и КТ методов.
8. Показания к применению МРТ. Показания к применению контрастных веществ.
9. Противопоказания к применению МРТ.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Литература

Основная:

1. Илясова, Е. Б. Лучевая диагностика: учебное пособие / Е. Б. Илясова, М. Л. Чехонацкая, В. Н. Приезжева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 432 с.
2. Трутень, В. П. Рентгенология: учебное пособие / В. П. Трутень. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. - 336 с.
3. Труфанов, Г. Е. Лучевая диагностика: учебник / Труфанов Г. Е. и др. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 484 с.
4. Лучевая диагностика и лучевая терапия: учебн. пособие / [А.И. Алешкевич [и др.]] – Минск : Новое знание, 2017. – 381 с.
5. Ермолицкий, Н. М. Радиационная безопасность в лучевой диагностике: учеб.-метод. пособие для студентов 3-5 курсов мед.-диагност. фак. мед. вузов / Н. М. Ермолицкий; УО «ГомГМУ», Каф. внутренних болезней № 3 с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии. – Гомель: ГомГМУ, 2018. – 97 с.

Дополнительная:

6. Власов, Е. А. Томографическая (КТ и МРТ) анатомия центральной нервной системы человека [Атлас] / Е. А. Власов. – Москва : Издательский дом Видар-М, 2020. – 144 с.
7. (8). Жерко, О. М. Клиническая трансторакальная эхокардиография: практическое руководство для врачей / О. М. Жерко. – Минск : Альфа-книга, 2020. – 832с.
8. (9). Жерко, О. М. Ультразвуковая диагностика патологии сосудов: практическое руководство для врачей / О. М. Жерко. – Минск : Альфа-книга, 2019. – 688 с.
9. (10). Кармазановский, Г. Г. Динамическая мультиспиральная КТ: параметры и характеристики болюса контрастного вещества, примерные протоколы сканирования и их клиническое применение. Руководство для врачей лучевых диагностов / Г. Г. Кармазановский. – Москва : Издательский дом Видар-М, 2020. – 384 с.

10. (11). Морозов, С. П. Основы менеджмента медицинской визуализации / Морозов С. П. [и др.] – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 432 с.

11. (13). Носенко, Е. М. Ультразвуковое исследование артерий и вен верхних конечностей / Е. М. Носенко, Н. С. Носенко, Л. В. Дадова. – Москва : Издательский дом Видар-М, 2020. – 240 с.

12. (14). Озерская, И. А. Руководство по ультразвуковой диагностике в акушерстве и гинекологии / И. А. Озерская. – Москва : МЕДпресс-информ, 2021. – 304 с.

ДИДАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Содержание учебного материала

Структурная схема и основные элементы магнитно-резонансных томографов. Качество изображения: толщина слоя, ориентация слоя, пространственное и контрастное разрешение. Понятие отношения сигнал/шум. Изображения, взвешенные по T1, T2 и по протонной плотности.

Выбор параметров исследования: TR, TE, T1, число усреднений сигнала, угол наклона вектора (flip angle), поле обзора (FOV), размер матрицы, число срезов, толщина слоя и расстояние между слоями, время сканирования и факторы, влияющие на него. Мультипланарное и трехмерное преобразование изображений.

Побочные эффекты постоянного магнитного, переменного градиентного и радиочастотного полей на организм человека. Инструктаж и подготовка пациента к исследованию. Укладка пациента. Премедикация пациентов.

Специфические противопоказания к магнитно-резонансной томографии (МРТ). Меры безопасности для пациентов и персонала.

Контрастирование при МРТ, показания и противопоказания. Виды контрастных веществ, их дозирование, способы введения. Реакции и осложнения при применении контрастных препаратов. Меры по предотвращению и лечению реакций и осложнений.

Магнитно-резонансная спектроскопия (МР-спектроскопии). Ядерно-магнитный спектрометр. Лаборатория МР-спектроскопии. Клиническая МР-спектроскопия.

Основные исторические вехи

1946 г.: Феликс Блох (Стенфордский университет) и Эдвард Парселл (Гарвардский университет) независимо друг от друга открыли явление

ядерного магнитного резонанса. 1952 г.: Феликс Блох и Эдвард Парселл удостоены Нобелевской премии по физике «за развитие новых методов для точных ядерных магнитных измерений и связанные с этим открытия».

1960 г.: Владислав Александрович Иванов (Ленинградский институт точной механики и оптики), направил в Комитет по делам изобретений и открытий заявку на изобретение, где были подробно обозначены принципы метода МРТ (авторское свидетельство «Способ определения внутреннего строения материальных объектов» № 1112266 на эту заявку, с сохранением даты приоритета её подачи, было выдано автору только в 1984 году!).

1971 г.: Реймонд Дамадьян (Гарвардский университет) в статье журнале Science указал, что опухоли и нормальные ткани по-разному реагируют на ядерный магнитный резонанс и впервые предложил использовать этот механизм для ранней диагностики рака.

1973 г.: Пол Лотербур (Нью-Йоркский университет в Стоуни-Брук) опубликовал в журнале «Nature» статью «Создание изображения с помощью индуцированного локального взаимодействия; примеры на основе магнитного резонанса». Позже Питер Мэнсфилд (Ноттингемский университет) усовершенствовал математические алгоритмы получения изображения.

1974 г.: Реймонд Дамадьян получил первый патент в области магнитно-резонансной томографии для диагностики злокачественных новообразований. Патент был получен в целях использования МРТ для «просмотра человеческого организма для определения локализации рака». В 1988 Дамадьян получил Национальную медаль в области технологий.

2001 г.: Реймонд Дамадьян получил награду Lemelson-MIT как «человек, который изобрел сканер МРТ» (первый оригинальный сканер «для всего тела» находится в музее Национальной галереи славы изобретателей (г. Акрон, штат Огайо, США)).

2003 Пол Лаутербур и Питер Мэнсфилд удостоены Нобелевской премии «За изобретение метода магнитно-резонансной томографии».

Магнитно-резонансная томография (МРТ) — метод томографического исследования внутренних органов посредством использования феномена ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

ЯМР — процесс поглощения или излучения электромагнитной энергии ядрами с ненулевым спином (т.е. ядрами с нечетным числом нейтронов и протонов), обусловленное переориентацией магнитных моментов ядер во внешнем магнитном поле*.

**Прим.:* Ядра разных элементов реагируют на определенную частоту радиочастотного сигнала. В аппаратах МРТ, применяемых в клинической

практике, используются радиочастотные сигналы ориентированные на ядра, в состав которых входит водород (H^2), поскольку организм на 90% состоит из воды и органических веществ в которые входит H^2 .

Принцип метода:

- измеряется электромагнитный отклик ядер атомов H^2 в ответ на возбуждение их радиочастотными волнами заданной частоты в постоянном магнитном поле;
- производится многократное считывание сигналов с каждой точки исследуемой зоны;
- осуществляется математическая процедура, позволяющая сложный сигнал сортировать на отдельные частотные и фазовые компоненты, определять их местоположение и кодировать определенным оттенком серой шкалы с последующей реконструкцией изображения с помощью ЭВМ.

Протон (H^2) – физико-химическая система, состоящая из атомного ядра, несущего элементарный положительный электрический заряд, и электрона, вращающегося вокруг ядра, и несущего элементарный отрицательный электрический заряд. Эта система совершает вращательное движение (это вращение называют прецессией) с определенной частотой (частота Лармора), создавая собственное магнитное поле. Собственное магнитное поле протона похоже на поле постоянного магнита (диполя). При помещении объекта исследования в сильное однородное магнитное поле, большая часть протонов выстраивается вдоль силовых линий магнита в результате чего возникает сильная продольная намагниченность.

После подачи РЧ-сигнала соответственной резонансной частоты (близкой к частоте Лармора), протоны перестраиваются, перпендикулярно основному магнитному вектору, в результате чего продольная намагниченность приближается к 0. Возникает поперечная намагниченность. После прекращения действия импульса протоны возвращаются к первоначальной ориентации, к равновесному состоянию, к более низкому энергетическому уровню, отдавая при этом энергию, которая воспринимается катушкой (т.е. при выключении РЧ-импульса происходит восстановление первоначального направления “по полю”).

Избыточная энергия освобождается в пространство в виде радиочастотного импульса (РЧ-импульса). Этот процесс называется релаксацией. При этом поперечная намагниченность уменьшается, а продольная увеличивается. Время, за которое величина основного вектора восстанавливается до 63% от своего первоначального максимального значения, называется продольной релаксацией, или T_1 -релаксацией или

спин-решетчатой релаксацией. Скорость изменения намагниченности зависит от химических связей, наличия кристаллической решетки, неоднородности магнитного поля, возможности отдачи свободной энергии, легкости перехода электрона с одного уровня на другой.

После подачи -импульса все протоны начинают вращаться синхронно (в одной фазе), но затем из-за неоднородности магнитного поля спины начинают вращаться в разных фазах. В момент начала расфазировки движения протонов наступает время T2 релаксации. T2-релаксация или спин-спиновая релаксация – это время, за которое вектор намагниченности уменьшается до 37% первоначального значения.

Изменение намагниченности считаются многократно для каждой точки исследования и в зависимости от начала измерения МР-сигнала, характерного для разных импульсных последовательностей, мы получаем T2-взвешенные (T2-ВИ), T1-взвешенные (T1-ВИ) и протон-взвешенные изображения.

РЧ-сигналы могут подаваться в различных комбинациях. Эти комбинации называются импульсными последовательностями. Они позволяют добиться различной контрастности мягкотканых структур и применять специальные методики исследования. Основные импульсные последовательности:

- T1-ВИ (хорошо дифференцируются анатомические структуры),
- T2-ВИ (лучше дифференцируется патология).

Характер сигнала зависит от множества параметров: протонной плотности, времени T1 и времени T2 (спин-спиновой и спин-решетчатой релаксации), диффузии в исследуемых тканях, степени кровотока, химического состава, применяемой импульсной последовательности, температуры объекта, силы химической связи. Подбирая разные последовательности можно добиться максимального контраста, лучшей визуализации хпатологической структуры.

Время эхо (TE или Echo Time) – интервал между радиочастотным импульсом и пиком сигнала (эхо), индуцированного в катушке. Измеряется в миллисекундах. Степень T2 релаксации определяется через TE. Так же TE значительно влияет на контраст изображения во всех типах последовательностей.

Время повторения (TR или repetition time) – интервал между двумя радиочастотными импульсами (в SE – между двумя 90° импульсами, в GE – между двумя α импульсами и в IR – между двумя 180° импульсами). TR определяет насколько продольная намагниченность успевает

восстанавливаться до применения следующего импульса. Влияет на степень релаксации T1. Измеряется в миллисекундах.

Базовые характеристики T1-ВИ:

TR: короткое, TE: короткое




Базовые характеристики T2-ВИ :

TR: длинное, TE: длинное

Угол переворота: менее важен, чем при T1-ВИ.

Одним из главных преимуществ МРТ является возможность создания максимального контраста между зоной интереса (опухолью) и здоровой тканью. Задача исследователя подобрать нужную последовательность.

При патологических процессах, как правило, увеличивается содержание воды в тканях, что приводит к снижению интенсивности сигнала на T1-взвешенных изображениях и увеличения интенсивности сигнала на T2-взвешенных изображениях. В биологических жидкостях, содержащих разные по размеру молекулы, внутренние магнитные поля значительно различаются. Это ведет к тому, что расфазировка спинов наступает быстрее, время T2 короткое и на T2- взвешенных изображениях спинно-мозговая жидкость выглядит белой. Жировая ткань на T1 и на T2-ВИ дает гиперинтенсивный сигнал и выглядит белой.

	T1-ВИ	T2-ВИ	Примечание
Костный мозг			На T2-ВИ такой же интенсивности или гиперинтенсивнее, чем мышцы (жир в костном мозге, как правило, гиперинтенсивный)
Мышцы			на T2-ВИ изоинтенсивные (гипоинтенсивнее, чем мышцы на T1-ВИ)
Кровь			
Белое вещество			
Серое вещество			
Жидкости			
Кости			
Жир			на T2-ВИ гиперинтенсивный (гипоинтенсивнее, чем жир на T1-ВИ)
Воздух			

В зависимости от напряженности магнитного поля различают:

- До 0,1 Тл – сверхнизкопольный томограф
- От 0,1 до 0,5Тл – низкопольный
- От 0,5 до 1 Тл – среднепольный
- От 1 до 2Тл – высокопольный
- Более 2 Тл – сверхвысокопольный

Для создания магнитного поля применяют:

- постоянные магниты (большой вес и низкая индукция (до 0,3Тл));
- электромагниты (соленоид, по которому пропускают высокий ток (0,3-0,7Тл));
- гибридные магниты (сочетание постоянных и резистивных магнитов);
- сверхпроводящие (требуется многоступенчатые системы охлаждения).

Противопоказания к МРТ

Абсолютные:

- наличие искусственных водителей ритма,
- наличие хирургических скобок и клипс на сосудах,
- ферромагнитные или электронные имплантаты среднего уха,
- наличие металлических имплантатов,
- наличие искусственной помпы для введения инсулина,

Относительные

- наличие металлических скобок в грудине,
- наличие современных кава-фильтров,
- наличие сосудистых стентов,
- наличие искусственных клапанов сердца,
- наличие функционирующей реанимационной аппаратуры,
- клаустрофобия,
- беременность,
- тяжелое состояние пациента.

Преимущества МРТ:

- высокий тканевой контраст (основанный не на плотности и зависящий от ряда физико-химических свойств тканей);
- возможность управлять контрастом;
- отсутствие артефактов от костей;
- мультипланарность и возможность получения 3D изображений;
- возможность отображать кровотоки;
- отсутствие лучевой нагрузки.

Ограничения МРТ:

- в отличие от **КТ** плохо отображаются обызвествления;
- артефакты от дыхательных и других движений (органы грудной клетки, брюшной полости);
- противопоказана пациентам с установленным водителем ритма, ферромагнитными инородными телами, женщинам первой трети беременности и реанимационным больным (из-за воздействия магнитных полей МР-томографа на системы жизнеобеспечения)

Показания к применению метода*

1. Голова:

- для диагностики патологии в базальных структурах мозга,
- для диагностики заболеваний задней черепной ямки,
- для диагностики заболеваний продолговатого мозга,
- для диагностики заболеваний демиелинизирующего процесса,
- для диагностики опухоли гипофиза,
- для диагностики рецидива опухоли,
- при отсутствии изменений на КТ, но наличии клиники.

2. Позвоночник и спинной мозг:

- для диагностики опухоли спинного мозга,
- для диагностики сирингомиелии,
- для диагностики рецидивов грыж,
- для диагностики невриномы,
- для диагностики послеоперационных изменений,
- для диагностики опухолевого поражения позвоночника,
- при отсутствии изменений на КТ, но наличии клиники.

3. Органы грудной клетки:

- для оценки инвазии опухолей легких в стенки грудной клетки, в средостение, в крупные сосуды,
- для диагностики аневризмы аорты,
- для диагностики перикардитов,
- для диагностики внутрисердечных и паракардиальных образований,
- для диагностики осложнений острого инфаркта миокарда (ложные аневризмы, тромбы),
- для диагностики правожелудочковой дисплазии,
- для диагностики тахикардии, при патологии выносящего тракта правого желудочка,

- для диагностики некоторых врожденных пороков (коарктация аорты, аномалии дуги аорты, легочных вен).
- для диагностики миокардиопатий

* Прим.: Проведение исследования должно быть показанным, целесообразным и давать информацию недостижимую другими методами исследования. Подробно показания будут рассмотрены при изучении конкретных тем.