

Лекция 6. Тема 3 Методы структурной диагностики. МРТ

1. Общая характеристика метода МРТ
2. Физические основы МРТ
3. МР-изображения
4. Различные методы МРТ
5. Устройство магнитно-резонансного томографа
6. Сравнение методов КТ и МРТ
7. Достоинства и недостатки метода МРТ

1. Общая характеристика метода МРТ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) – метод лучевой диагностики, основанный на использовании магнитного поля и радиоволн для получения послойных и объемных изображений органов и тканей, восстановленных математическими методами. При этом на изображении фиксируется как разница в плотности тканей, т.е. количество ядер в единице объема, так и разница в скорости восстановления этих ядер после их возбуждения радиочастотным импульсом.

МРТ является самым сложным из всех методов лучевой диагностики как с точки зрения физико-технических основ, так и технологии производства и компьютерного обеспечения, а также одним из самых дорогостоящих методов.

На специальном столе человек перемещается в открытый с двух сторон тоннель томографа. Обычно диаметр тоннеля составляет 70-80 см. Внутри томографа расположено несколько круглых магнитов, которые создают *постоянное* магнитное поле. Затем на тело человека воздействуют внешним *переменным* магнитным полем определенной частоты (радиочастоты), при этом происходит избирательное (*резонансное*) поглощение ядрами некоторых атомов энергии электромагнитного поля, с последующим (*резонансным*) выделением энергии в виде радиосигнала. Компьютер обрабатывает полученную информацию, и в результате получают изображения срезов исследуемого участка: четко просматривается жировая ткань, мышечная, ткань спинного мозга, позвоночник и другие.

Метод основан на явлении *ядерного магнитного резонанса (ЯМР)*, открытого в 1946 году Ф.Блохом и Р.Перселлом, которые показали, что некоторые ядра атомов (водорода, фтора, фосфора и др.), находящиеся в магнитном поле, индуцируют электромагнитный сигнал под воздействием радиочастотных импульсов. В 1952 году за открытие ядерного магнитного резонанса им была присуждена Нобелевская премия.

В начале 1970-х годов британский ученый Пол Лотербург открыл возможность получать двухмерное изображение с помощью создания градиента в магнитном поле. Американский ученый Питер Мэнсфилд развил исследования Пола Лотербурга и создал математическую систему, в кратчайшие сроки способную преобразовывать эти сигналы в двухмерное изображение. И в 2003 году Питеру Мэнсфилду и Полу Лотербургу за исследование в области МРТ была присуждена Нобелевская премия по медицине.

МРТ не оказывает ионизирующего (повреждающего) воздействия на биологические ткани и в настоящее время считается практически безвредным.

2. Физические основы МРТ

Для получения МРТ-изображений можно использовать любой элемент, который имеет нечетное число протонов в ядре. Однако на практике используется только ядро атома водорода, который в большом количестве содержится в любом организме. Каждая молекула воды содержит 2 атома водорода, а тело человека состоит примерно на 4/5 из воды.

Атом водорода - это протон, вокруг которого вращается электрон. Протон также вращается вокруг собственной оси с частотой Лармора - примерно 40 МГц, а его ось вращения описывает в пространстве окружность (по типу «волчка»), так что получается конус.

Движение протона формирует магнитное поле, вектор которого совпадает с направлением конуса вращения. Таким образом, каждый протон можно представить в виде маленького магнита (спина).

Рассмотрим основные этапы МР-исследования.

1. В отсутствие внешнего магнитного поля спины ориентированы хаотично. Под действием сильного магнитного поля, которое характеризуется вектором магнитной индукции B_0 , спины ориентируются вдоль этого вектора. При этом возникает *продольная намагниченность* спинов.

2. Затем подается мощный радиочастотный импульс резонансной частоты, близкой к частоте Лармора. При этом спины ориентируются перпендикулярно (90°) основному магнитному вектору B_0 и начинают совершать синхронное вращение. Т.е. наблюдается **ядерный резонанс**. Продольная намагниченность становится равной нулю, и возникает *поперечная намагниченность*.

3. Под влиянием основного магнитного вектора B_0 спины постепенно возвращаются к исходному состоянию, при этом они излучают электромагнитные волны той же частоты, что и частота посланных радиоволн. Этот процесс называется **релаксацией**. При этом поперечная намагниченность уменьшается, а продольная увеличивается. Этот процесс характеризуется временем T_1 - *релаксации* (или *спин-решетчатой релаксацией*).

4. Из-за неоднородности (негомогенности) внешнего магнитного поля и наличия локальных магнитных полей внутри исследуемых тканей, спины начинают вращаться в разных фазах, т.е. происходит *расфазировка*, которая характеризуется временем T_2 - *релаксации*, или *спин-спиновой релаксацией*.

Ответные радиоволны улавливаются принимающей катушкой во время фазы регистрации МР-сигнала. Затем эти сигналы передаются в компьютер, где происходит их математическая обработка и построение изображения.

У каждой ткани есть свое время релаксации, например, у жира оно небольшое, а у воды время релаксации значительно больше. В зависимости от того, какую ткань нужно визуализировать, подбирается соответствующая частота радиочастотного импульса, в результате возникает резонанс, после чего наступает релаксация.

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.

Магнитно-резонансная томография – метод, фундаментально отличный от других методов лучевой визуализации. Если при рентгенографии изображение определяется плотностью ткани при прохождении рентгеновских лучей, то в методе МРТ самым важным фактором в формировании изображения является *скорость восстановления ядер после воздействия радиоволн (скорость релаксации)*. В качестве примера, рассмотрим изображение одной и той же области головного мозга при КТ и МРТ. В МРТ на контраст изображения не влияет высокая плотность кости. Серое и белое вещество головного мозга, ствол головного мозга и мозолистое тело четко визуализируются вследствие различных времен релаксации ядер в этих тканях.

3. МР-изображения

Изменения намагниченности считываются многократно для каждой точки исследуемого объекта при различных импульсных последовательностях. В зависимости от начала измерения МР-сигнала, характерного для разных импульсных последовательностей, получают *T2-взвешенные и T1-взвешенные изображения (срезы)*.

T1 - взвешенные изображения (T1 режим) являются стандартным базовым сканированием, в частности, дифференцирует жир от воды: вода будет темнее, а жир ярче. T1-взвешенные изображения дают темный сигнал тех участков, где есть жидкость (отеки, воспаления, инфаркты, опухоли, подострые и хронические кровоизлияния). Яркий сигнал дают жир, контрастные вещества. T1 режим позволяет получить наиболее близкие анатомические изображения: серое вещество выглядит действительно серым, а белое вещество - оно выглядит действительно белым.

T2-взвешенные изображения (T2 режим) также разделяют жир и воду, только жир выглядит темнее, а вода - светлее. Например, в случае исследования головного мозга и позвоночника цереброспинальная жидкость будет ярче на T2-взвешенном изображении. В T2-режиме белое вещество имеет более темный оттенок, а серое вещество выглядит более светлым. Таким образом, на сером фоне более отчетливо видны светлые патологии.

Есть еще третий вариант изображений - это T2-режим, только с подавлением сигнала от свободной жидкости, что позволяет визуализировать очаги определенной патологии. На снимке они выглядят как высокоинтенсивные светлые точки.

4. Различные методы МРТ

На сегодняшний день в медицине используется множество различных методик МРТ.

1. Бесконтактная МРТ (простая). Не предусматривает внутривенного введения специальных препаратов, используется в большинстве исследований.

2. МРТ с контрастом. Включает внутривенное введение препаратов на основе гадолиния. Позволяет получить детальную картину и выявить даже самые мелкие патологические очаги.

3. Метод SWI - хорошо улавливаются сигналы металлсодержащих частиц, например, гемоглобина крови, четко визуализируются сосуды, позволяет зафиксировать места, где был выход крови, например, геморрагический инсульт.

4. Бесконтрастная МР-ангиография, которая позволяет визуализировать сосуды.

5. ДВИ (диффузионно-взвешенное изображение) - позволяет установить места, где нарушена диффузия водорода, т.е. она ограничена из-за имеющейся патологии;

6. Трехмерная реконструкция - позволяет визуализировать очаги.

7. Наиболее прогрессивная разновидность - ФМРТ (функциональная магнитно-резонансная томография). Метод измеряет гемодинамические реакции, вызванные нейронной активностью головного и спинного мозга на основе оксигенации крови. Суть метода заключается в том, что при работе определенных отделов мозга кровотоки в них усиливаются. В процессе проведения ФМРТ пациенту предлагается выполнение определенных заданий, участки мозга с повышенным кровотоком регистрируются, и их изображение накладывается на обычную МРТ мозга.

8. МР-трактография - позволяет на основе данных так называемого диффузионно-тензорного картирования определить направление преимущественного движения молекул воды, происходящего вдоль миелиновых оболочек проводящих путей, и осуществить визуализацию нервных волокон головного мозга и других органов, что находит своё применение как в нейроонкологии, так и в фундаментальных нейрофизиологических исследованиях.

5 Устройство магнитно-резонансного томографа.

5.1 Основные элементы магнитно-резонансного томографа

Для получения МР сигнала и последующего изображения используют постоянное гомогенное магнитное поле и радиочастотный сигнал, который изменяет магнитное поле.

Перечислим основные компоненты любого МР-томографа:

- **магнит, который создает внешнее постоянное магнитное поле** с вектором магнитной индукции B_0 . Одним из основных требований, предъявляемых к магнитному полю, является его однородность в центре тоннеля;

- **градиентные катушки,** которые создают слабое магнитное поле в трех направлениях в центре магнита, и позволяют выбрать область исследования;

- **радиочастотные катушки,** которые используются для создания электромагнитного возбуждения протонов в теле пациента (**передающие катушки**) и для регистрации ответа сгенерированного возбуждения (**приемные катушки**). Иногда приемные и передающая катушки совмещены в одну при исследовании различных частей тела, например, головы.

- **стол пациента;**

- **компьютер** для управления процессом сканирования и реконструкции изображений.

5.2. Типы МР-томографов

В зависимости от напряженности магнитного поля различают несколько типов томографов:

- менее 0,5 Тл - низкопольный;
- от 0,5 до 1 Тл - среднепольный;
- от 1 до 2 Тл - высокопольный;
- более 2 Тл - сверхвысокопольный.

В клинической практике распространены томографы с напряженностью 3 Тл. Используются также сверхвысокопольные томографы до 7 Тл. Существуют также МР-томографы с напряженностью 11 -12 Тл.

По конструкции МР-томографы подразделяются на томографы закрытого и открытого типов.

Закрытый томограф – это устройство, напоминающее огромную трубу. В нем создается магнитное поле и туда на специальном столе закатывается пациент. В связи с тем, что при определенных видах диагностики пациент находится в томографе довольно долго, он может испытывать дискомфорт от замкнутого пространства.

Технология МРТ открытого типа играет важную роль при работе с людьми, которые не могут проходить обследование в туннельных устройствах, к примеру, пациенты с тяжелыми переломами, травмами. 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).

5.3. Типы магнитов в МРТ.

Для создания постоянного магнитного поля используют:

1) **постоянные магниты**, которые построены из ферромагнитных материалов.

Недостаток: большой вес - несколько десятков тонн при небольшой силе индукции - до 0,3 Тл (применяются в низкопольных МР-томографах).

Достоинство: Отсутствие громоздкой системы охлаждения и потребления электричества для формирования магнитного поля;

2) **электромагниты**, или **резистивные магниты**, представляющие собой соленоид, по которому пропускают сильный электрический ток.

Недостаток: они требуют мощной системы охлаждения, потребляют много электроэнергии,

Достоинство: большая однородность поля; широкий диапазон магнитного поля - от 0,3 до 0,7 Тл (применяются в низко- и среднепольных МР-томографах).

3) Сочетания резистивного и постоянного магнита дают так называемые **гибридные магниты**, в которых получаются более сильные, чем в постоянных магнитах, поля.

4) Сверхпроводящие магниты – применяются в высокопольных томографах. В них используют явление сверхпроводимости. При температурах, близких к абсолютному нулю ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, или $^{\circ}\text{K}$), происходит резкое падение сопротивления, и, следовательно, можно использовать огромные значения силы тока для генерации магнитного поля.

Недостаток: громоздкие, дорогостоящие системы охлаждения с применением сжиженных инертных газов (гелий He, азот N).

6 Сравнение методов КТ и МРТ.

Приведем краткое сравнение методов КТ и МРТ по 4 параметрам.

Принципы методов

Метод КТ основан на свойстве рентгеновских лучей поглощаться тканями различной плотности. На исследуемую область послойно воздействует пучок рентгеновских лучей, которые проходя через ткани с различной плотностью, поглощаются ими. В результате получаются послойные изображения срезов тела. Высококачественное компьютерное оборудование обрабатывает полученные данные и позволяет получить трехмерные изображения исследуемого участка.

Метод МРТ основан на явлении ядерного магнитного резонанса.

Изображение получают при помощи мощного магнитного поля, благодаря которому атомы водорода в организме человека начинают менять свое положение. Томограф посылает радиочастотные импульсы, а возникающий в организме эффект улавливается при помощи специального оборудования и выводится на экран в виде трехмерного изображения.

В отличие от КТ, при которой томограмму можно получить только в плоскости механически вращающихся вокруг пациента рентгеновской трубки и детекторов излучения, при МРТ плоскость сканирования определяется направлением приложения градиентного магнитного поля и может быть любой.

Время воздействия

В методе КТ время воздействия рентгеновских лучей составляет 10-15 с; для МРТ-исследования может потребоваться 20-25 мин, иногда исследование может занимать 50 мин, а в случае низкопольного МРТ время увеличивается вдвое.

Область применения

МРТ предпочтительно для исследования мягких тканей - новообразований в мышцах, жировой клетчатке, брюшной полости и органах малого таза (для уточнения данных, полученных при УЗИ); для исследования состояния структур головного мозга, нарушения кровообращения и очагов поражения в головном и спинном мозге, а также МРТ широко применяют при исследовании позвоночника, в частности состояния межпозвоковых дисков, суставов, и прежде всего состояния связок.

КТ предпочтительна для диагностики заболеваний суставов и позвоночника, когда интересуется костная составляющая; первичных и вторичных поражениях

костей опухолевой природы; травматических повреждений скелета; атеросклеротических изменений сосудов; заболеваний легких, органов брюшной полости и органов малого таза.

Противопоказания КТ и МРТ:

В связи с большой лучевой нагрузкой КТ не рекомендуется беременным женщинам, кормящим матерям, и детям.

МРТ нельзя проводить, если у человека установлен кардиостимулятор (т.к. изменения магнитного поля могут имитировать сердечный ритм), ферромагнитные имплантаты, кровоостанавливающие клипсы сосудов головного мозга.

7 Достоинства и недостатки метода МРТ

Преимущества метода МРТ:

- неинвазивность;
- безопасность электромагнитного излучения;
- высокая чувствительность метода к водороду (контрастность изображения достигается за счет разности в концентрациях водорода в различных участках органов и тканей, фон от костных тканей не мешает получению изображений, так как концентрация водорода в них ниже, чем в окружающих тканях);
- возможность получения изображений практически всех тканей тела за счет изменения времени действия потока РЧ волн с высокой дифференциацией мягких тканей;
- высокая чувствительность метода к химическим связям различных молекул, что повышает контрастность изображения;
- возможность получения трехмерных изображений в любой плоскости – аксиальной, коронарной, саггитальной;
- высокая разрешающая способность позволяет исследовать объекты размером в доли миллиметра.

Недостатки метода МРТ:

- высокая чувствительность к двигательным артефактам.
- ограничение исследований у пациентов, в организме которых имеются ферромагнитные имплантаты - кардиостимуляторы, автоматические дозаторы лекарственных средств, имплантированные инсулиновые помпы, искусственные клапаны сердца с металлическими элементами, стальные имплантаты и др., так как под влиянием сильного магнитного поля они могут нагреваться, смещаться и травмировать окружающие ткани.
- плохая визуализация костных структур из-за низкого содержания воды.