

## МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к заданию №1 по теме: «Организация, технология и методы рентгеновской компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии»

Целью выполнения настоящего задания является изучение принципов рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) и показаний к использованию этого метода.

Внедрение в клиническую практику РКТ оказало существенное влияние на многие вопросы лучевой диагностики, поскольку в настоящее время этот метод используется практически для исследования практически всех органов и систем.

Впервые идея, послужившая основой для разработки компьютерной томографии, была высказана еще в конце 50-х годов XX в. Ее практическая реализация завершилась в 1972 году, когда появился первый компьютерный томограф. В дальнейшем метод получил бурное развитие и из, первоначально рассчитанного только на исследование головного мозга, стал широко применяться для изучения органов грудной клетки, костно-суставной системы, органов брюшной полости, забрюшинного пространства, органов таза и других.

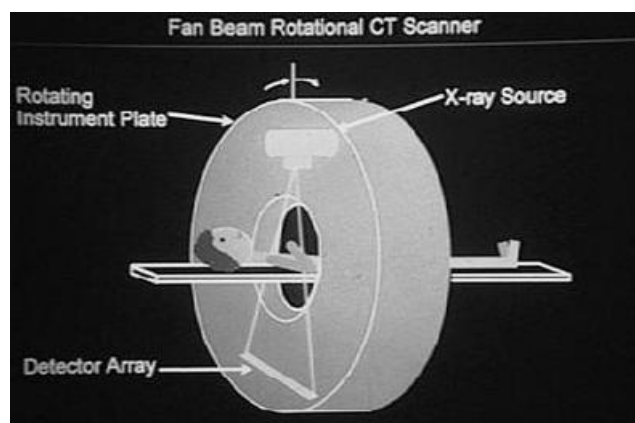


Рис. 1 Принцип рентгеновской компьютерной томографии

В компьютерных томографах рентгеновская трубка, связанная с системой детекторов, вращается в аксиальной плоскости вокруг тела пациента (Рис.1). Испускаемый трубкой рентгеновский пучок шириной в 1-10 мм, проходя через исследуемый слой, ослабляется в зависимости от плотности в разной степени для каждой точки. Пропускаемый через пациента пучок рентгеновских лучей фиксируется системой специальных детекторов, которые примерно в 100 раз чувствительнее рентгеновской пленки. В качестве **детекторов** используются либо кристаллы различных химических соединений (например, йодид натрия), либо полые камеры, наполненные сжатым ксеноном.

Рентгеновские фотоны генерируют в детекторах электрические сигналы, величина которых зависит от интенсивности достигшего детектора первичного луча. Затем электрические сигналы поступают в систему сбора данных компьютерного томографа, где обрабатываются процессором, и с помощью специальных математических алгоритмов создается изображение в аксиальной плоскости, которое воспроизводится на экране монитора. В последующем полученные изображения можно реконструировать в сагиттальной и фронтальной проекциях (мультипланарная реконструкция).

В течение многих лет технические разработки в области КТ менялись, и существует уже несколько поколений компьютерных томографов. В конце 80-х гг. была разработана новая модификация томографирования, названная спиральной КТ, при которой в процессе исследования с одновременным постоянным вращением системы “трубка - детекторы” постоянно и линейно движется стол, т.е. имеется спиралевидное движение веерообразного луча через тело пациента (Рис. 2).

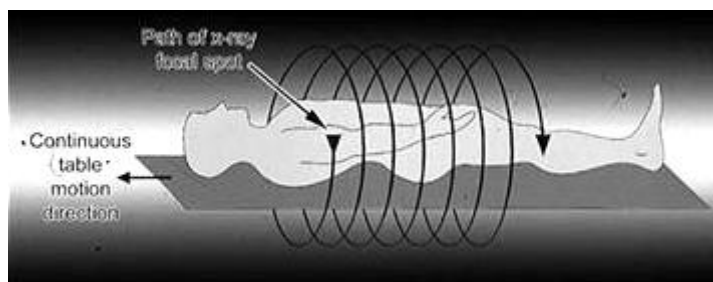


Рис. 2 Принцип спиральной компьютерной томографии

Спиральная КТ дает возможность исследовать анатомическую область за один период задержки дыхания, а толщина реконструируемого среза не связана с первично заданной шириной томограммы. Получение тонких соприкасающихся срезов (плотно расположенных по спирали) позволяет создавать трехмерные реконструкции. В комбинации с внутривенным контрастированием и субтракционной обработкой данных можно создавать КТ-ангиограммы, воспроизводящие изображения крупных сосудов.

В последние годы стала использоваться мультиспиральная (мультисрезовая) КТ, в основу которой положены принципы получения изображений как при спиральной КТ, но за счет многорядных детекторов за полный оборот системы "трубка-детекторы" можно воспроизводить более одного среза (в настоящий момент от 2 до 64 изображений), что значительно увеличивает скорость исследования. В связи с этим возможно проведение исследований сердца, обследование большой анатомической области, например легких, тонкими срезами на одной задержке дыхания, существенное улучшение качества мультипланарных и трехмерных реконструкций.

Исследование проводится следующим образом:

Вначале для планирования томографирования выполняется продольное проекционное изображение ("топограмма", "scout-view") анатомической области. Топограмму получают путем перемещения стола с находящимся на нем пациентом через пучок лучей без вращения трубки или детекторов.

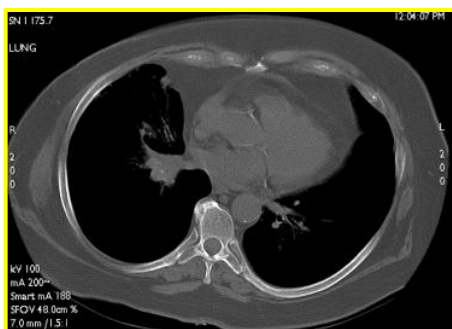
Далее выполняется томографирование. При этом трубка испускает тонкий веерообразный пучок рентгеновских лучей, а стол с пациентом остается неподвижным. Толщина томограмм (срезов) зависит от степени коллимации рентгеновского пучка, например от 1 до 10 мм. После сбора информации стол передвигается на заданное расстояние и выполняется следующая томограмма (шаговый режим КТ). При спиральном режиме сканирования стол (ложемент) движется через апертуру гентри при одновременном постоянном вращении рентгеновской трубки.

Исследуемый срез ткани можно представить разделенным на набор равных по объему элементов, так называемых вокселей.

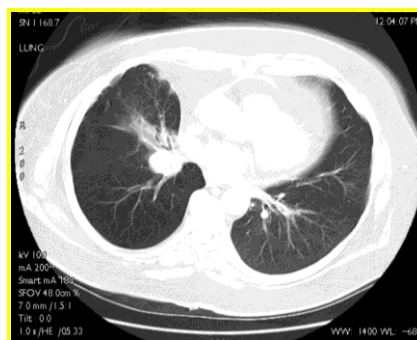
Для расчета поглощения рентгеновских лучей каждым вокселем необходимо измерить в нескольких проекциях регистрируемое отдельным детектором ослабление. Это достигается одновременным вращением рентгеновской трубки и массива детекторов в плоскости среза.

В изображении среза ткани (томограмме) каждый воксель представляется плоскостным элементом (пикселем), а размер и расположение пикселя определяются размером и расположением вокселя в плоскости сканирования. В изображении на мониторе каждому пикселю соответствует определенный оттенок серой шкалы или яркости в зависимости от ослабления в вокселе, при этом кость выглядит светлой, а жировая ткань - относительно темной.

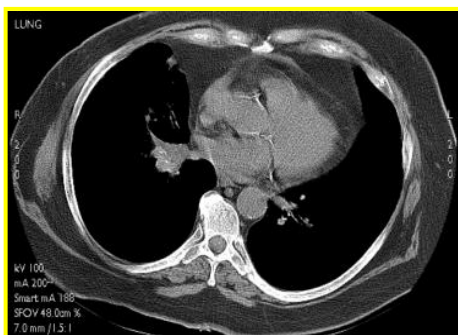
При томографировании тела пациента создается карта рентгеновских коэффициентов поглощения, которые выражаются в единицах Hounsfield (HU), названных так по имени изобретателя метода, где 0 HU соответствует уровню поглощения дистиллированной воды, а минус 1000 HU - сухого воздуха. Коэффициент поглощения костной ткани - плюс 800-1000 HU. Эти коэффициенты называются денситометрическими показателями, с помощью которых определяют плотность тканей в любой точке измеряемого слоя.



**Костный режим W=2000 H**



**Легочный режим W=1400 H**



**Средостенный режим W=500 H**



**Мягкотканый режим W=300 H**

Рис. 3 Отображение среза в различных участках шкалы Хаунсфилда («окнах») при исследовании органов грудной клетки

Денситометрические показатели вычисляются как результат общего поглощения рентгеновских лучей в объемном элементе (вокселе) среза РКТ и являются суммой всех содержащихся в нем коэффициентов поглощения различных тканей в области измерения. Измерение плотностных показателей влияет на диагностику заболеваний.

В связи с тем, что контрастность при КТ обусловлена, главным образом, различиями в тканевых коэффициентах поглощения (плотности), для увеличения градиента денситометрических показателей в диагностических целях применяют методику внутривенного усиления. Для этого используются водорастворимые йодосодержащие контрастные препараты, которые вводятся внутривенно струйно шприцем или болюсно (с высокой скоростью и практически одномоментно) с помощью автоматического иньектора. Методика внутривенного усиления позволяет с большей точностью определять и дифференцировать объемные образования.

Принципиальная сущность изображения, полученного при РКТ, как уже было отмечено, заключается в определении неодинаковой плотности различных тканей человеческого тела. Таким образом, при исследовании любого органа или ткани патологические изменения в них могут проявляться либо участками повышенной плотности (опухоль, кальцинаты), либо зонами пониженной плотности (кисты, деструкция), либо чередованием участков низкой и высокой плотности.

Некоторые заболевания могут сопровождаться также увеличением органа, его деформацией, смещением прилегающих структур, сужением или расширением тех или иных естественных протоков.

На втором этапе выполнения этого задания вам предстоит с помощью методического пособия познакомиться с примерами диагностических изображений полученных при РКТ. При анализе изображений определите известные вам анатомические особенности исследуемого органа.



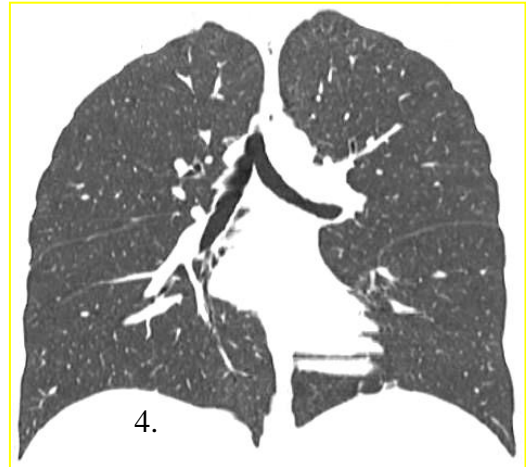
1.



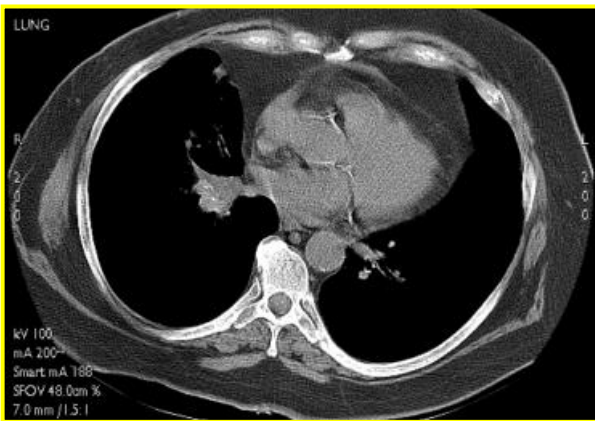
2.



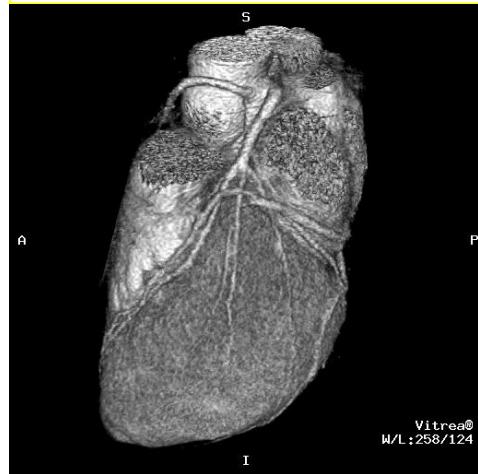
3.



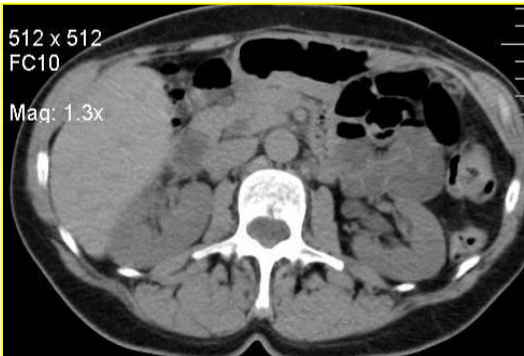
4.



5.



6.



7.



8.



9.



10.



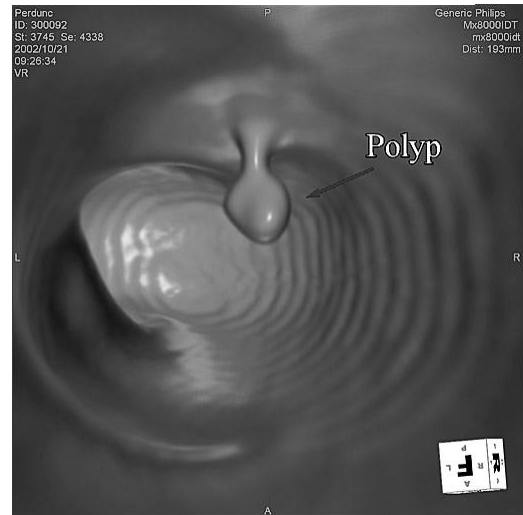
11.



12.



13.



14.

### Пояснения к набору рентгеновских компьютерных томограмм

1. Компьютерная томограмма головы в режиме головного мозга в норме. Определяется структура головного мозга: серое и белое вещество, мозговые извилины, субдуральное пространство, желудочки головного мозга. Кости свода черепа в этом режиме отображения не получают.
2. 3D реконструкция при мультиспиральной рентгеновской компьютерной томографии - изображение черепа и верхних отделов позвоночного столба в норме. Отмечаются

- известные вам кости мозгового и лицевого черепа, тела шейных позвонков, подъязычная кость.
3. Компьютерная томограмма органов грудной клетки в норме в легочном режиме на уровне бифуркации трахеи. Определяется структура легочной ткани, легочные сосуды, корни легких, бифуркация трахеи и правый главный бронх.
  4. Реконструкция легких в норме при мультиспиральной рентгеновской компьютерной томографии в виде продольного фронтального среза. Отмечается состояние воздушности легких, их размеры, форма, структура. Отображаются листки междолевой плевры, нижние отделы трахеи, корни легких.
  5. Компьютерная томограмма органов грудной клетки в средостенном режиме. Отмечаются различные отделы сердца, крупные сосуды средостения.
  6. 3D- реконструкция при мультиспиральной рентгеновской компьютерной томографии – изображение сердца в норме – оценка размеров, формы сердца структуры стенки. Определяются правая и левая коронарные артерии.
  7. Компьютерная томограмма органов брюшной полости. На поперечном срезе, проходящем через средние отделы брюшной полости, определяются печень, почки, поджелудочная железа, кишечник, брюшная аорта.
  8. Реконструкция изображения органов брюшной полости при мультиспиральной рентгеновской компьютерной томографии при болюсном усилении. Определяются размеры, форма и плотностная структура печени, желчный пузырь, верхняя брыжеечная артерия, петли тонкой кишки.
  9. Компьютерная томограмма органов брюшной полости в норме после внутривенного контрастного усиления. Отображаются более плотные за счет кровонаполнения с контрастным веществом почки, печень, аорта. Сравните это изображение с рис. 7, отметьте различия.
  10. Реконструкция при мультиспиральной рентгеновской компьютерной томографии почек в норме после внутривенного контрастного усиления. Определяются размеры, форма почек, их структура – кортикальная и губчатая ткань, чашечно-лоханочные комплексы, структура забрюшинного пространства.
  11. Компьютерная томограмма поясничного позвонка при воспалительном Заболеваний костной ткани «остеоид-остеома». В области основания дужки слева – патологические изменения в виде участка костной деструкции с наличием костного секвестра.
  12. Реконструкция поясничного отдела позвоночного столба при аномальных изменениях – спондилодез и спондилолистез: в области дужки четвертого поясничного позвонка врожденный дефект костной ткани и смещением тел позвонков кпереди в сегменте L3-4.
  13. Мультиспиральная компьютерно-томографическая урография в норме. Отображение просвета чашечно-лоханочных комплексов и мочеточников после внутривенного введения контрастного вещества, выделяемого почками.
  14. Виртуальная колоноскопия в результате реконструкции при мультиспиральной рентгеновской компьютерной томографии. В просвете кишки полип на ножке.

## МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к заданию №2 по теме: «Организация, технология и методы рентгеновской компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии, медицинской термографии»

Целью выполнения настоящего задания является изучение принципов **магнитно-резонансной томографии** и основных показаний к использованию этого метода в клинике.

В основе магнитно-резонансной томографии лежит сложное физическое явление – ядерно-магнитный резонанс. В состав тканей входят атомы, имеющие в своем составе нечетное количество протонов и электронов (H, C, O, P). Такие атомы обладают способностью вращаться вокруг своей оси под воздействием внешнего магнитного поля. Это свойство атомов называется «**спин**». Спин - это квантово-механический параметр ядра в виде вращательного момента, возникающего под воздействием магнитного поля. Соседние атомы влияют на вращение ядра, приводя к явлению **прецессии** – отклонению электрической оси вращающегося ядра под влиянием внешнего воздействия. Подобное же явление под влиянием силы тяжести возникает при вращении обычного волчка. Скорость прецессии (частота) увеличивается при увеличении силы магнитного поля.

На ядра атомов, находящиеся в состоянии прецессии можно воздействовать внешним переменным электромагнитным полем (радиоволнами) определенной частоты, соответствующей частоте прецессии, различной для разных атомов, имеющего спин. Такое воздействие в результате **ядерно-магнитного резонанса** приводит к усилению явления прецессии (увеличению угла отклонения оси вращающегося ядра) (Рис. 1).

После выключения внешнего радиосигнала ядра возвращаются в свое первоначальное состояние, излучая при этом радиоволны соответствующей длины волны (частоты), которые улавливаются антенной или принимающей катушкой. Полученный электрический сигнал реконструируется компьютером в изображение.

Возвращение в первоначальное энергетическое состояние – **релаксация**, происходит постепенно и сопровождается постепенным затуханием сигнала. Возможно оценить скорость релаксации, которая дает информацию о состоянии тканей. Релаксация бывает двух типов. T1 релаксация - затухание прецессии с переходом оси ядра атома из отклоненного в первоначальное вертикальное положение. Это продольная релаксация (T1), приводящая к ослаблению интенсивности МР - сигнала.

Второй вид релаксации T2 связан с переходом состояния положения осей «в фазе» в начале процесса и «не в фазе» в конце. Чем больше ядер атомов водорода в объеме ткани, тем сильнее сигнал. Это качество определяется понятием «плотность спина» и также влияет на получение МРТ – изображения

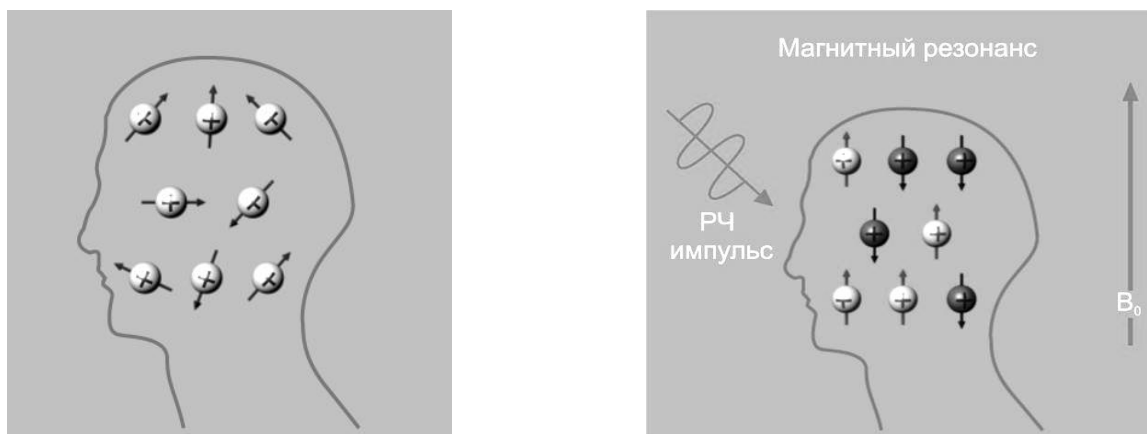


Рис. 1 Совпадение частоты РЧ импульса и частоты вращения протонов обеспечивает передачу дополнительной энергии ядрам. При возврате на нижний энергетический уровень ядро отдает энергию - МР-сигнал ( $B_0$ ), который можно зарегистрировать с помощью принимающей катушки.

Таким образом, интенсивность сигнала, регистрируемого антенной или приемной катушкой используется как основа расчета степени яркости каждого участка изображения. Различные значения T1, T2 и плотности спина трансформируются в различную яркость точек конечного изображения.

Для получения изображения необходимого среза дополнительно используются градиентное (переменное) магнитное поле, направляемое в исследуемый слой тканей таким образом, чтобы регистрировать сигналы только от ядер, расположенных в этой зоне. Градиентное поле увеличивает степень прецессии и меняет частоту радиосигналов из исследуемого слоя.

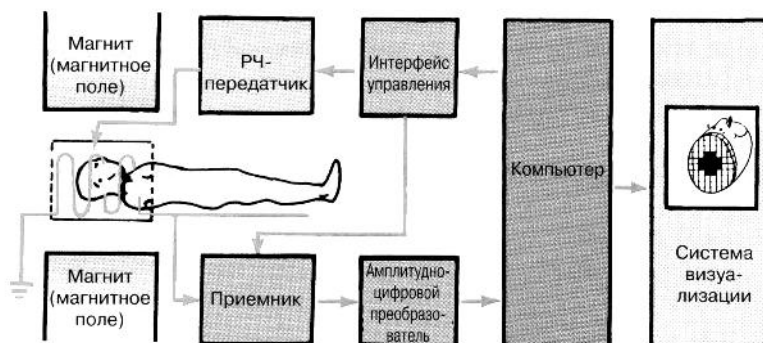


Рис. 2 Принцип устройства магнитно-резонансного томографа

В состав магнитно-резонансного томографа входят: магнит, градиентные катушки, радиочастотные катушки, электронная система обеспечения, компьютер и дисплей. Выше уже отмечалось, что степень рецессии зависит от напряженности магнитного поля. Основным техническим параметром, определяющим диагностические возможности МРТ, является напряженность магнитного поля, измеряемая в Т [Тесла]. Высокопольные томографы (от 1,0 до 3,0 Т) позволяют проводить наиболее широкий спектр исследований всех областей тела человека, включающий функциональные исследования, ангиографию, быструю томографию. Томографы этого уровня являются высокотехнологичными комплексами, требующими постоянного технического контроля и крупных финансовых затрат.

Напротив, низкопольные томографы обычно являются экономичными, компактными и менее требовательными с технической точки зрения. Однако возможность визуализации мелких структур на низкопольных томографах ограничена низким пространственным разрешением, а спектр обследуемых анатомических областей включает только головной и спинной мозг, крупные суставы.

Спектр обследований, определяется также набором радиочастотных катушек, или специализированных «датчиков» для различных анатомических областей. Существуют РЧ-катушки для исследования головного мозга, позвоночника, сосудов шеи, молочных желез, коленного сустава, плечевого сустава, внутрисуставные датчики и многие другие.

Полученное изображение принципиально отличается от прочих известных вам диагностических изображений. Оно основано не на различиях плотности ткани как при рентгенодиагностическом методе и не на состоянии звукопроводности как при УЗИ, а на концентрации атомов определенного вида.

МРТ позволяет получать изображение в любой проекции или плоскости. Благодаря исследованию скорости затухания сигнала возможен химический анализ исследуемых структур.



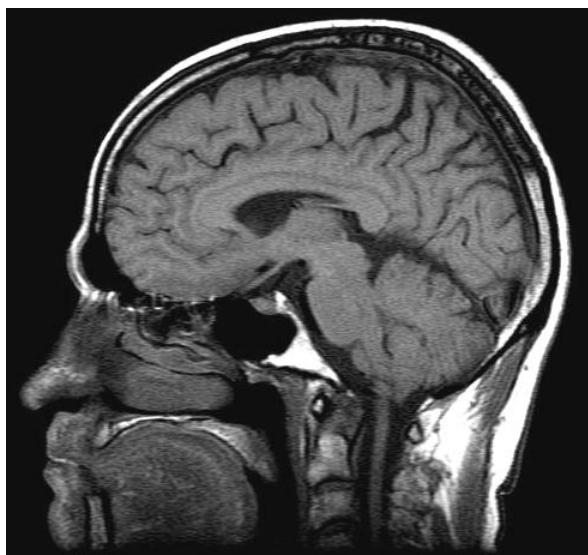


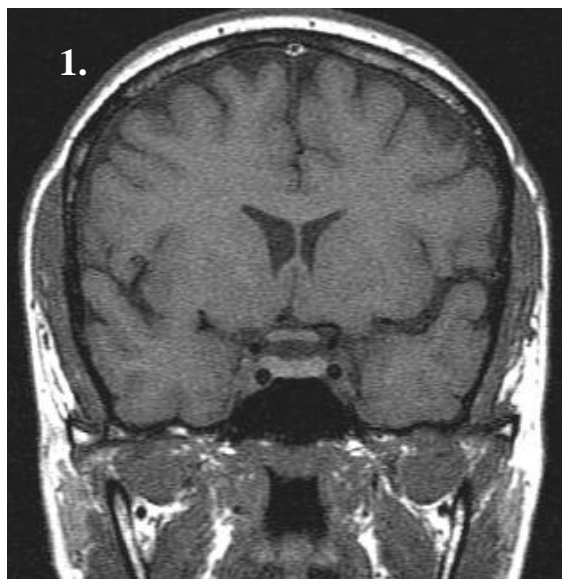
Рис. 3 Магнитно-резонансная томограмма головы

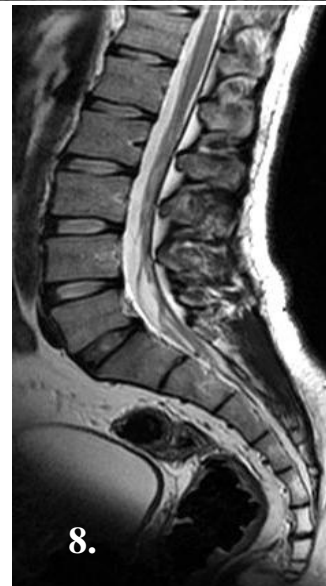
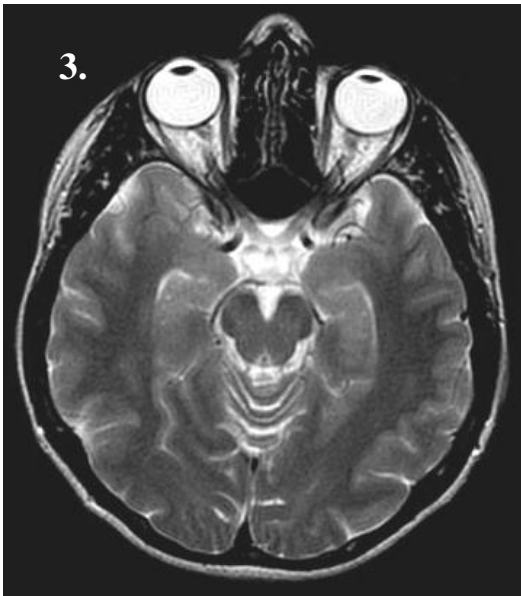
В настоящее время основными показаниями для применения МРТ являются следующие:

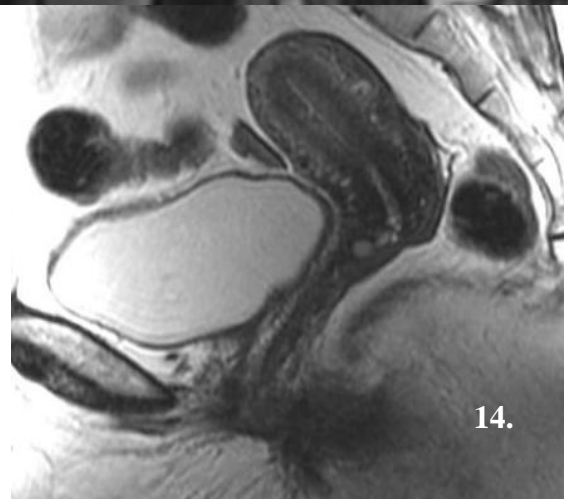
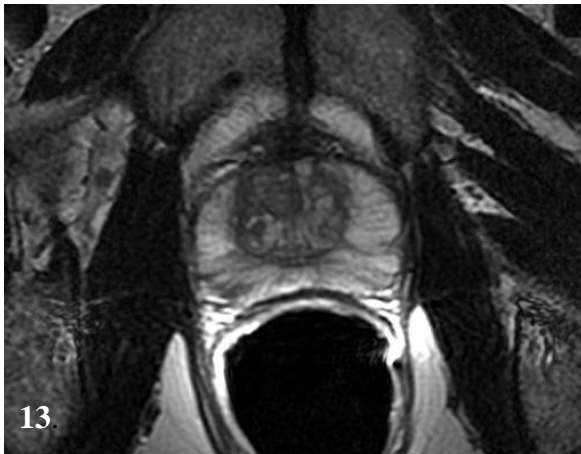
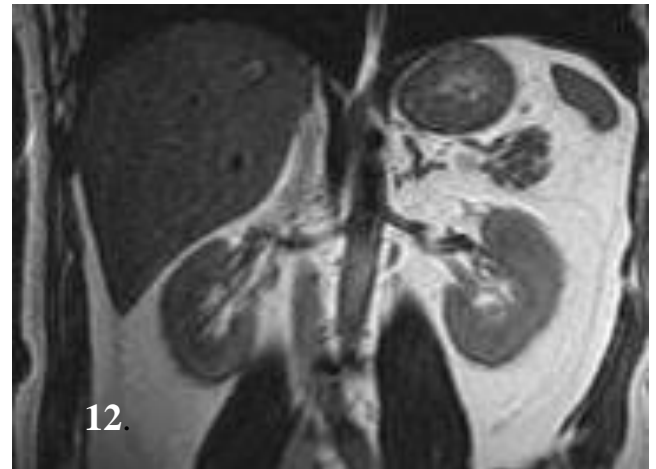
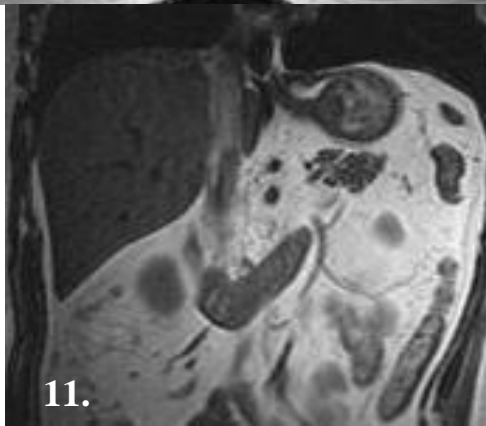
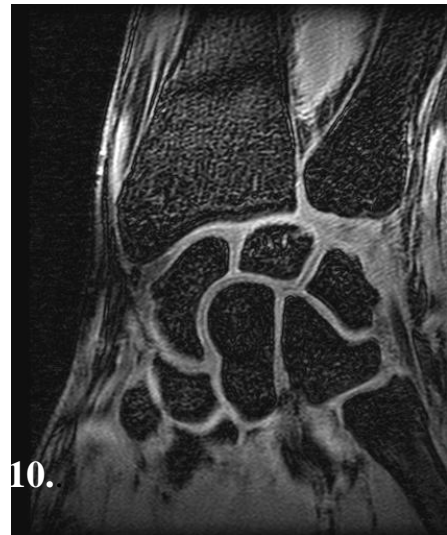
1. Исследование центральной нервной системы: головного и спинного мозга.
2. Изучение состояния внутрисуставных структур при травматических повреждениях и заболеваниях суставов.
3. Исследование состояния мягких тканей при ограниченных и диффузных их поражениях.
4. Метастатическое поражение различных органов и систем.

Необходимо заметить, что диагностические возможности МРТ еще не изучены в полной мере. В будущем этот метод позволит выявлять изменения многих органов и систем, для изучения которых он сегодня не применяется совсем или используется ограниченно.

Изучите с помощью пояснений представленный набор магнитно-резонансных томограмм.







### Пояснения к набору магнитно-резонансных томограмм

1. МРТ головного мозга во фронтальной плоскости. Определяются теменная и височная доли головного мозга, извилины, серое и белое вещество, боковые желудочки, гипофиз, субдуральное пространство. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
2. МРТ головного мозга в сагиттальной плоскости на уровне его основания. Определяется височные доли, четвертый желудочек, мозжечок, мост, базилярная артерия. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
3. МРТ головного мозга в сагиттальной плоскости на уровне средних отделов. Определяются глазные яблоки, зрительные нервы, ножки мозга, червь мозжечка. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).

4. МР-ангиография сосудов головного мозга. Определяются внутренние сонные артерии, передняя, средняя и задняя мозговые артерии, базилярная артерия. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
5. МРТ коленного сустава (Т-2 взвешенное изображение). Определяются надколенник, большеберцовая и бедренная кости, передняя и задняя крестообразные связки, собственная связка надколенника, внутрисуставные хрящи. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
6. МТР коленного сустава (Т-1 взвешенное изображение). Определяются наружный и внутренний мениски, внутренняя боковая связка, большеберцовая и бедренная кости. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
7. МРТ шейного отдела позвоночного столба. Определяются мозжечок, продолговатый мозг, спинной мозг, шейные позвонки, межпозвонковые диски. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
8. МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночного столба. Определяются тела позвонков, остистые отростки, спинной мозг, конский хвост, межпозвонковые диски (фиброзное кольцо), крестец, копчик. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
9. МРТ поясничного отдела позвоночного столба в сагиттальной плоскости. Определяются межпозвонковый диск, позвоночный канал, конский хвост спинного мозга, дугоототчатый сустав, остистый отросток. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
10. МРТ кисти. Определяются лучевая, локтевая кости, ладьевидная, трехгранная и полулунная кости запястья, головчатая кость, сухожилия локтевого разгибателя кисти. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
11. МРТ органов брюшной полости во фронтальной проекции. Определяются печень, желудок, двенадцатиперстная кишка, нижняя полая вена. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
12. МРТ забрюшинного пространства. Определяются почки, брюшная аорта и почечные артерии. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
13. МРТ предстательной железы. Определяются центральная и периферическая зоны предстательной железы, капсула железы, внутренняя запирательная мышца. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).
14. МРТ органов малого таза. Определяются шейка и тела матки, эндометрий и миометрий матки, крестей, толстая кишка, мочевого пузырь, симфиз. (Найдите на томограмме отмеченные анатомические структуры).