

Б. Данель, Б. Прушиньски

# ЛУЧЕВАЯ АНАТОМИЯ ЧЕЛОВЕКА

Рентгенодиагностика • Ангиография • Компьютерная томография  
Магнитно-резонансный метод • Ультрасонография • Сцинтиграфия

Под редакцией  
доктора медицинских наук,  
профессора Р. П. Самусева

Москва  
Мир и Образование

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие к русскому изданию</b> .....	5	<b>Живот и органы таза</b> .....	247
<b>Вступление</b> .....	6	Методические указания .....	247
Генезис книги .....	6	Анатомические изображения .....	250
Объем информации и ее представление .....	6	Конвенциональная рентгенодиагностика .....	250
Читательский адрес .....	7	Ангиография .....	262
Благодарности .....	7	Компьютерная томография .....	269
<b>Основы интерпретации результатов применения методов визуализации</b> .....	9	Магнитно-резонансный метод .....	306
Конвенциональная рентгенодиагностика .....	9	Ультрасонография .....	325
Ангиография .....	9	Сцинтиграфия .....	342
Компьютерная томография .....	10	Биометрические показатели и точки ориентации ...	344
Магнитно-резонансный метод .....	11	Печень .....	344
Ультрасонография .....	14	Другие внутренние органы .....	346
Сцинтиграфия .....	15	Сосуды брюшной полости .....	348
Представление результатов исследований .....	15	Поясничный отдел позвоночника .....	349
<b>Голова</b> .....	17	<b>Нижняя и верхняя конечности</b> .....	351
Методические указания .....	17	Методические указания .....	351
Анатомические изображения .....	19	Анатомические изображения — нижняя конечность	352
Конвенциональная рентгенодиагностика .....	19	Конвенциональная рентгенодиагностика .....	352
Ангиография .....	29	Ангиография .....	360
Компьютерная томография .....	33	Компьютерная томография .....	361
Магнитно-резонансный метод .....	66	Магнитно-резонансный метод .....	376
Ультрасонография .....	98	Ультрасонография .....	388
Сцинтиграфия .....	101	Сцинтиграфия .....	391
Биометрические показатели и точки ориентации ...	102	Биометрические показатели и точки ориентации —	
<b>Шея</b> .....	108	нижняя конечность .....	392
Методические указания .....	108	Анатомические изображения — верхняя конечность	401
Анатомические изображения .....	109	Конвенциональная рентгенодиагностика .....	401
Конвенциональная рентгенодиагностика .....	109	Ангиография .....	408
Ангиография .....	112	Компьютерная томография .....	412
Компьютерная томография .....	114	Магнитно-резонансный метод .....	422
Магнитно-резонансный метод .....	134	Ультрасонография .....	430
Ультрасонография .....	146	Биометрические показатели и точки ориентации —	
Сцинтиграфия .....	152	верхняя конечность .....	433
Биометрические показатели и точки ориентации ...	153	<b>Все тело</b> .....	436
<b>Грудная клетка</b> .....	157	Анатомические изображения .....	436
Методические указания .....	157	Компьютерная томография .....	436
Анатомические изображения .....	159	Магнитно-резонансный метод .....	438
Конвенциональная рентгенодиагностика .....	159	Сцинтиграфия .....	441
Ангиография .....	163	Магнитно-резонансная ангиография .....	442
Компьютерная томография .....	172	<b>Литература</b> .....	443
Магнитно-резонансный метод .....	215	<b>Тематический указатель</b> .....	446
Ультрасонография сердца — эхокардиография ...	228		
Сцинтиграфия .....	231		
Радиология молочной железы .....	235		
Биометрические показатели и точки ориентации ...	238		

## Генезис книги

Идея разработки руководства, посвященного анатомическим основам интерпретации результатов исследований методами визуализации, зародилась на Съезде радиологов Северной Америки (RSNA) в 2002 году. Непосредственным импульсом для работы явились новые в то время направления развития методов визуализации, представленные на заседаниях тематических групп и на технической выставке, сопровождавшей работу съезда. Новые факторы развития методов визуализации живого организма можно представить следующим образом.

- Внедрение в клиническую практику новых комплексов для магнитно-резонансного метода (МР) и компьютерной томографии (КТ) с многорядным комплектом детекторов привело к значительному сокращению времени исследования, увеличению числа измеряемых данных и совершенствованию реконструкции визуального материала. Доминировавшая до тех пор система оценки поперечных сечений тела стали заменять реконструктивные изображения, точно иллюстрирующие строение исследуемого тканевого блока. В зависимости от применяемых алгоритмов реконструкции стало возможным получать сечения тела в произвольной плоскости, отображать объем и положение органов в трехмерном виде, выделять поверхности исследуемых анатомических структур либо визуализировать только те элементы, которые характеризуются соответствующим показателем поглощения X-лучей. Новые диагностические возможности открываются с помощью виртуальной картины

внутреннего вида трубчатых органов, с помощью цветowych, а также мультимедийных интерпретаций, интегрирующих результаты различных методов исследования, например КТ и изотопных исследований.

- Различные преобразования первичных данных известны довольно давно, однако только в начале XXI века для таких манипуляций достигнут удовлетворительный технический уровень и они частично могут быть автоматизированы. При этом качество изображения сравнимо с анатомическими атласами. Благодаря трехмерности в совершенстве отображаются топографические соотношения органов или тканей. Трехмерные изображения легче интерпретируются и оцениваются клиницистами, чем поперечные сечения. Уже сегодня многоплоскостные реконструкции, особенно фронтальные и сагиттальные, играют существенную роль в повседневной медицинской практике.
- С совершенствованием методов визуализации и возможностью их применения для оценки мелких анатомических деталей (например, слуховых косточек или черепных нервов) возрастает роль этих методов в медицинском образовании — как высшем, так и среднем — при изучении описательной и топографической анатомии. Замеры изучаемых анатомических структур и их взаимоотношение *in vivo* стали предметом многочисленных исследований. Полученные результаты способствуют объективизации диагностического процесса и упрощают различение нормы и патологии.

## Объем информации и ее представление

Главная задача авторов обусловлена потребностью в максимальной мере учесть все названные выше факторы, а в особенности роль методов визуализации в оценке анатомического строения человеческого организма. Введением к теме служат два раздела. Первый посвящен физическим явлениям, влияющим на качество получаемых изображений, а также терминологии, используемой при их описании; во втором рассмотрены современные возможности представления результатов исследований.

Основная, наиболее детальная часть руководства состоит из шести разделов, в которых поочередно представлены лучевая анатомия головы, шеи, органов грудной клетки, живота, малого таза, нижней и верхней конечностей и всего тела. Каждый раздел состоит из трех частей.

- Методические указания, содержащие информацию о рациональном использовании различных методов визуализации органов или областей тела, являющихся предметом изучения. С практической точки зрения знание ди-

агностической эффективности используемого метода в зависимости от первичного диагноза имеет существенное значение, так как дает возможность сократить диагностический процесс и снизить его стоимость. Под понятиями «базовое исследование», «приоритетный метод» или «исследование по выбору» подразумеваются исследования с помощью метода визуализации, обеспечивающего наилучшую возможность оценки анатомических деталей и топографических особенностей. Это могут быть два или три метода с равной эффективностью. Они могут применяться альтернативно, в зависимости от стоимости исследования, доступности аппаратуры или опыта исследователя.

- Подробный атлас анатомии составляет наиболее важную часть руководства. Представленные анатомические изображения получены с помощью конвенциональной рентгенодиагностики, ангиографии, КТ, МР, ультразвуковой или сцинтиграфии. Последний метод в принципе является функциональным исследованием и не имеет большого значения в оценке анатомического строения органов. Ис-

следования с помощью КТ и МР представлены как реконструкции в горизонтальной, сагиттальной и фронтальной плоскостях.

- В третьей части раздела читатель найдет информацию, касающуюся нормальных значений биометрических параметров отдельных анатомических структур или их соотношений. Источником этих данных является литература, список которой приведен в конце книги.

Во врачебной практике исследования с помощью методов визуализации имеют целенаправленный характер. В зависимости от предварительного диагноза они касаются определенной анатомической области или органа. В указателе, размещенном в конце книги, авторы стремились учесть именно такой способ диагностических действий. Так, например, при пункте «глазница и ее содержимое» читатель найдет номера страниц, на которых помещена информация, касающаяся выбора наиболее эффективного метода исследования, атлас, иллюстрирующий анатомию этой области, а также показатели измерений составляющих структур этой области. Представляется, что такой подход облегчит пользование книгой.

## Читательский адрес

Данное руководство адресуется прежде всего врачам, проходящим специализацию в области радиологии и диагностической визуализации. Анатомия занимает важное место в освоении этой профессии, поскольку является основой интерпретации полученных данных. Эти же вопросы занимают важное место в медицинском образовании (как высшем, так и среднем), особенно по электрорадиологии, сестринскому делу, экстренной медицине и реабилитации. Современный атлас лучевой анатомии упрощает оценку результатов осмотра и может быть использован в диагно-

стических центрах и отделениях. Методические указания помогут семейным врачам при выборе наиболее рациональных диагностических действий. Врачи различных специальностей, которые все чаще сталкиваются с методами визуализации, имеют возможность познакомиться с примерами современного представления результатов исследований живого организма. Знание новейших достижений в этой области облегчит общение между клиницистами и радиологами. Авторы убеждены, что данная книга вызовет широкую заинтересованность в медицинских кругах.

## Благодарности

Иллюстрации к данной книге только частично взяты из собственных архивных материалов авторов. Большая часть иллюстративного материала получена благодаря любезности представителей фирм, производящих медицинскую аппаратуру. В связи с этим авторы выражают глубокую благодарность инженерам Артуру Сыновецкому и Тадеушу Хайдеру (Siemens), Артуру Марциняку и Гжегожу Сыхожиньскому (Medison), Яцеку Бжезиньскому и Петру Северыньскому (GE), Войцеху Сикоре и Славеку Зубкевичу (Toshiba), доктору Витольду Стельмашу (Philips).

Выражаем отдельную благодарность профессору, доктору медицинских наук Лешеку Крулицкому за изобразительные материалы по гамма-топографии, доктору Барбаре Лярыш за материалы по эхокардиографии, доктору Роберту Юзве за материалы по коронарной ангиографии, доктору Барбаре Гурецкой за изобразительные материалы по пантомографии, доктору Адаму Коризме за изображения гипофиза, а также инженеру Станиславу Карнелли (Fuji) за рентгеновские изображения в системе цифровой радиологии.

За значительную помощь в комплектовании и обработке изобразительных материалов выражаем искреннюю благодарность: доктору Катажине Засада-Цедро, доктору Кшиштофу Юречку, инженеру Эве Тыц, старшему технику Гжегожу Махальскому и старшему технику Мацею Ментиньскому из Диагностического радиологи-

ческого центра Объединенной воеводской больницы в Щецине, а также г-же Барбаре Домбровской и г-же Катажине Робурской из II отдела клинической радиологии Варшавской медицинской академии.

Г-на магистра Влодимижа Пионтка благодарим за выполнение фотографических работ.

*Авторы*

# ОСНОВЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

## Конвенциональная рентгенодиагностика

Рентгеновское излучение применяется в медицинской диагностике свыше ста лет. Проникая сквозь ткани, излучение поглощается и рассеивается. Величина ослабления X-излучения зависит от:

- энергии излучения,
- эффективного атомного состава различных соединений, образующих ткани,
- относительной плотности ткани,
- толщины объекта.

Мягкое излучение, до 70 кВ, ослабляется главным образом благодаря явлению поглощения (фотоэлектрический эффект), а жесткое, свыше 100 кВ, является источником большого рассеяния (комptonовское или когерентное рассеяние). В конвенциональной радиологии X-лучи, эмитируемые рентгеновской трубкой, проходят через тело пациента, а возникающий при этом эффект их ослабления регистрируется на галогено-серебряной рентгеновской пленке либо на детекторе иного типа, дающем возможность цифровой записи ослабления. При этом анатомические элементы, поглощающие излучение в значительной степени (гиперденсивные

структуры), на пленке выявляются как светлые образования (костные элементы, зубы, физиологические обызвествления). Анатомические структуры, содержащие воздух и ослабляющие излучение в небольшой степени (гиподенсивные структуры), — как темные элементы (легкие, придаточные пазухи носа, наполненные газами кишки, трахея). Паренхиматозные органы и мягкие ткани, а также наполненные кровью сосуды обладают одинаковой — средней — степенью поглощения X-лучей и почти не распознаются как самостоятельные анатомические структуры.

Качество изображения органа на рентгеновском снимке в большой мере зависит от геометрии пучка излучения. При расходящейся форме пучка фотографируемый анатомический элемент увеличивается. Негативно влияет наложение теней различных анатомических структур, находящихся по ходу пучка излучения. Чтобы уменьшить искажение изображения, рентгеновские снимки следует выполнять с большого расстояния ( $\geq 100$  см) в двух взаимно перпендикулярных проекциях (во фронтальной и сагитальной плоскостях).

## Ангиография

Ангиография основывается на введении в кровеносное русло растворимого в воде контрастного йодного фактора и дальнейшей регистрации тока окрашенной крови в аналоговой (галогено-серебряная рентгеновская пленка, фотолента) или цифровой форме. Контрастное вещество вводится через катетер в артерию или вену после кожного прокола, чаще всего бедренной артерии. Использование катетеров, которые видны во время просвечивания, дает возможность контроля их положения в сосуде, являющемся предметом исследования. В зависимости от места введения контрастного вещества говорится об ангиокардиографии, аортографии, избирательной ангиографии определенной артерии или о флебографии. При внутриартериальной инъекции раствора йода в начале видны

артерии, затем окрашенная кровь поступает к снабжаемому исследуемой артерией органу, что вызывает его контрастное усиление. В последующем визуализируется и венозный кровотока от органа.

Особо представляет сосуды **цифровая субтрактивная ангиография**. Картина исследуемой сосудистой области регистрируется два раза: перед введением контрастного вещества в сосуды и после инъекции. Если данные, полученные во время первой экспозиции (маска), заменить с негатива на позитив, а затем наложить на вторую экспозицию в виде негатива, то все анатомические элементы, окружающие сосуды, будут невидны. В результате получается изображение, представляющее исключительно исследуемую сосудистую область.

Ангиография благодаря высокой пространственной и контрастной разрешающей способности считается сегодня «золотым стандартом» при

исследовании сосудов. Однако это инвазивная методика, и она хуже переносится пациентами, чем ультразвукография, КТ или МР.

## Компьютерная томография

Компьютерная томография (КТ), как и конвенциональная рентгенодиагностика, использует свойства рентгеновского излучения. Компьютерная томография, однако, является существенным прогрессом в визуализации анатомии органов и тканей живого человека. Конструктивные основы аппаратуры базируются на следующих принципах.

- X-излучение эмитируется рентгеновской трубкой, которая путем вращательного постоянного движения перемещается вокруг продольной оси исследуемого.
- Ослабление излучения при прохождении через тело пациента регистрируется с помощью детекторов, размещенных вдоль контура движения трубки. В настоящее время используются многорядные комплекты детекторов, которые позволяют во время одного оборота трубки получить свыше десяти и даже несколько десятков проекций тела.
- Во время исследования стол, на котором уложен пациент, перемещается в заданном темпе

и на определенное расстояние перпендикулярно плоскости вращения трубки.

Такая система позволяет в короткий промежуток времени получить значительное число измеряемых данных. Их можно использовать не только для реконструкции отдельного слоя проекции тела, но также для многоплоскостного представления анатомии исследуемого тканевого блока. При внутривенном введении контрастного вещества возрастает коэффициент поглощения X-лучей кровью, что дает возможность исследовать полости сердца и систему периферических сосудов (**компьютерная ангиотомография** или **ангио-КТ**). Дополнительным достоинством метода является возможность замеров коэффициентов поглощения X-лучей разными анатомическими структурами. Согласно принятой шкале Хаунсфильда (Hounsfield) костная ткань имеет коэффициент поглощения около +1000 единиц Хаунсфильда (ед. Н), вода — 0 ед. Н, воздух — около -1000 ед. Н. Ориентировочные коэффициенты поглощения X-лучей разными тканями представлены в табл. 1.

**Таблица 1**

Ориентировочные значения линейных коэффициентов поглощения X-лучей различными тканями по шкале Хаунсфильда

Вид ткани (органа), субстанции	Линейный коэффициент поглощения, ед. Н	
	от	до
Воздух	-1000	
Легкие	-900	-170
Жировая ткань	-100	-25
Вода	0	
Надпочечник	+5	+20
Поджелудочная железа	+5	+30
Почка	+30	+50
Печень	+20	+75
Свежая кровь	+80	+90
Костная ткань	+300	+1000

Компьютерная томография характеризуется значительно большей контрастной разрешающей способностью, чем конвенциональная рентгенодиагностика. Таким образом, улучшаются возможности изучения анатомии живого человека. Как и при рентгенодиагностике, структуры, в большей мере ослабляющие излучение (гиперденсивные), предстают на изображении как свет-

лые, а более проницаемые для X-лучей (гиподенсивные) — как темные. С учетом широты шкалы серого цвета, которой оперирует методика, в целях лучшей визуализации воздухосодержащих органов, мягких тканей и костей используются разные уровни контрастирования, а также их разные участки — окна. Примерные их значения представлены в табл. 2.

**Таблица 2**

Ориентировочные значения уровня контрастирования и окон во время исследования разных тканей

Вид исследуемой структуры	Уровень контрастирования, ед. Н	Окно, ед. Н
Мягкие ткани	30—40	300—400
Воздухосодержащие органы	−500 ÷ −700	1200—1600
Костная ткань	700—850	3000—4000

Определенную роль в оценке анатомических деталей органа играет также алгоритм реконструкции (построения) изображения. Во время исследования паренхиматозных органов и мягких тканей используется стандартный алгоритм, а строение костных перекладин и структуру воздухосодержащих органов исследуют с помощью алгоритма высокого разрешения.

При внутривенном введении водного раствора йода визуализируется сосудистая система, а большинство паренхиматозных органов подвергаются контрастному усилению. В зависимости от временных отношений между введением препарата и включением аппарата различают три фазы исследования.

- На ранней фазе исследования (12—25 секунд с начала введения раствора) можно визуализировать артерии. Время поступления окра-

шенной крови в исследуемую артерию определяется на основе опыта с помощью пробного введения контрастного вещества или специального оборудования, автоматически регистрирующего возрастание линейного коэффициента поглощения в исследуемой сосудистой области.

- В период 50—90 секунд от начала инъекции контрастного вещества кровь вызывает контрастное усиление рисунка большинства сосудов. Это называется паренхиматозной фазой исследования.
- В третьей фазе исследования становится видимым венозный отток.

Визуализация просвета кишок возможна после наполнения их водой, воздухом или контрастным веществом.

## Магнитно-резонансный метод

Магнитно-резонансное исследование (МР) основано на использовании резонансного воздействия радиоволн различной частоты на протоны, находящиеся в магнитном поле, и регистрации связанных с этим энергетических эффектов. При визуализации человеческого тела эти процессы касаются главным образом протонов водорода.

После размещения пациента в магнитном поле с индукцией 0,2—2,0 тесла (Тл) в первой фазе исследования магнитные оси протонов располагаются параллельно линиям внешнего поля. Большая их часть направлена в соответствии с полюсами этого поля, меньшая — в противополо-

жном направлении. Возникает так называемая продольная магнетизация. Под воздействием радиоволн с частотой, равной частоте прецессии протонов, продольная магнетизация исчезает и возникает поперечная магнетизация, вектор которой в разной степени отклоняется по отношению к линиям внешнего магнитного поля.

После выключения импульса следует период релаксации — система возвращается к энергетическому равновесию. Продольная магнетизация возрастает с временной постоянной  $T_1$  (время продольной релаксации). Одновременно исчезает поперечная магнетизация с временной постоянной  $T_2$  (время поперечной релаксации). По-



следний процесс индуцирует электрический импульс, интенсивность которого можно измерить. При построении изображения с помощью магнитно-резонансного исследования принято, что сильный сигнал соответствует на снимках светлым областям, а слабый сигнал — темным.

Интенсивность сигнала зависит от многих факторов, в том числе от биохимического и анатомического строения исследуемого слоя, а также от времени релаксации  $T_1$  и  $T_2$ , или от выбора соответствующей последовательности (секвен-

ции) импульсов. Среди наиболее часто применяемых назовем следующие.

- Секвенцию спинового резонанса, которая состоит из двух импульсов, отклоняющих множественный вектор магнетизации на  $90^\circ$  и  $180^\circ$ . Спиновое эхо (сигнал) возникает по истечении времени TE от возбуждения импульсом  $90^\circ$ . Время между двумя импульсами спинового резонанса определяется как TR. В зависимости от значения TE и TR получаются  $T_1$ - или  $T_2$ -зависимые изображения (табл. 3).

**Таблица 3**

Изображения, получаемые методом спинового резонанса

TR	Краткое время TE < 30 мс	Долгое время TE > 80 мс
Краткое время TR < 500 мс	$T_1$ -зависимое изображение	Смешанное изображение
Долгое время TR > 1500 мс	ПП-зависимое* изображение	$T_2$ -зависимое изображение

\* ПП — изображение, зависимое от протонной плотности. Протонная плотность влияет на интенсивность сигнала на  $T_1$ -зависимых изображениях.

- Методы градиентного резонанса, позволяющие значительно сократить время исследования. Эти методы применяются повсеместно, поскольку уменьшают влияние двигательной нерезкости, связанной с деятельностью сердца и дыханием. Эти методы характеризуются отклонением множественного вектора магнетизации на малый угол области  $10\text{—}35^\circ$ ,

краткостью времени репетиции  $\approx 40$  мс, а также использованием в качестве дополнительного переменного импульса градиентного поля после периода TE с момента возбуждающего импульса.  $T_1$ - или  $T_2$ -зависимые изображения получаются в зависимости от угла отклонения вектора магнетизации и времени TE (табл. 4).

**Таблица 4**

Изображения, получаемые методом градиентного резонанса

Градиентный резонанс	Краткое время TE = 8 мс	Долгое время TE = 30 мс
Малый угол отклонения $5\text{—}30^\circ$	ПП-зависимое изображение	$T_2$ -зависимое изображение
Большой угол отклонения $50\text{—}90^\circ$	$T_1$ -зависимое изображение	Смешанное изображение

- Сигнал на  $T_1$ -зависимых изображениях тем сильнее (гиперинтенсивнее), чем короче время релаксации. В этих областях возрастает прозрачность изображения. При долгом времени релаксации  $T_1$ -зависимое изображение темное, что означает слабый сигнал (гипоинтенсивный). С противоположной ситуацией

сталкиваются при получении  $T_2$ -зависимого изображения. Ткани с долгим временем релаксации эмитируют гиперинтенсивный сигнал и будут более светлыми, а ткани с коротким временем релаксации  $T_2$  эмитируют слабый сигнал (гипоинтенсивный) и будут более темными. Эти зависимости представлены в табл. 5.

**Таблица 5**

Зависимость между интенсивностью сигнала и временем релаксации  $T_1$  и  $T_2$

Время релаксации	$T_1$ -зависимое изображение	$T_2$ -зависимое изображение
Краткое	Гиперинтенсивный сигнал, ткань светлая	Гипоинтенсивный сигнал, ткань темная
Долгое	Гипоинтенсивный сигнал, ткань темная	Гиперинтенсивный сигнал, ткань светлая

Оценка строения человеческого тела с помощью МР-метода более трудна, чем при использовании других применяемых в настоящее время методов визуализации. Окончательный результат исследования в значительной мере зависит от примененной секвенции импульсов (программы исследования). Перед тем как приступить к интерпретации изображений, важно убедиться, с

какими изображениями мы имеем дело:  $T_1$ - или  $T_2$ -зависимыми. Основные данные, характеризующие секвенции исследования, приводятся на полях каждого снимка.

Основные сочетания интенсивности сигналов, происходящих из разных тканей, в зависимости от времени релаксации иллюстрирует табл. 6.

**Таблица 6**

Ориентировочные комплексы МР-сигналов из разных тканей в зависимости от времени релаксации  $T_1$  и  $T_2$

Характер сигнала	Изображение с преобладанием $T_1$	Изображение с преобладанием $T_2$
Сильный — светлый	Костный мозг, жировая ткань	Однородная жидкость
Средний — серый	Печень, селезенка, поджелудочная железа, почки, мышцы, неоднородные жидкости	Печень, селезенка, поджелудочная железа, почки, мышцы, костный мозг, жировая ткань, неоднородные жидкости
Сильный — темный	Кости, известковые конкременты, воздух, кровь, протекающая в сосудах, однородные жидкости	Костная ткань, известковые конкременты, воздух

Магнитный резонанс играет важную роль в исследованиях сосудистой системы. В этих случаях говорится о **магнитно-резонансной ангиографии** (МРА, ангио-МР).

В настоящее время используется несколько техник для исследований сосудистой системы с помощью МР. Их можно разделить на две основные группы: без применения контрастного вещества и с контрастным усилением. К первой относятся:

- **Скоростная ангиография (СА)** (time of flight). Благодаря соответствующему подбору секвенции достигается сатурация (редукция) сигнала стационарных тканей, являющихся основой и усилением сигнала крови, притекающей к исследуемой области. В технике 2D изображаются последовательные слои, проходящие поперечно к сосуду, в технике 3D исследуется строение тканевого блока. Тех-

ника СА имеет несколько существенных изъянов. Это трудности в изображении больших участков тела, медленно текущей крови, а также генерирование сгустками крови сильного сигнала в  $T_1$ -зависимых изображениях, подобного сигналу текущей крови. Проблемы создает также турбулентное течение, характеризующееся ослабленным сигналом по сравнению с ламинарным течением. Это может привести к ошибочному диагностированию сужения или непроходимости сосуда. Показатели диагностической эффективности СА-метода неудовлетворительны, особенно при визуализации периферических сосудов.

- **Фазово-контрастная ангиография (ФА)** (phase contrast). Оказалось, что вращательное движение протонов вокруг собственной оси (спин), движущихся в поле исследования, на-

пример в крови, характеризуется фазовым сдвигом по сравнению со стационарными протонами. Чтобы оценить кровоток во всех сосудах, идущих в разных направлениях, следует выполнить исследование четырехкратно: один раз без градиента, кодирующего кровоток, и трехкратно с градиентами, кодирующими кровоток в трех разных плоскостях. Кроме анатомической информации, техника ФА позволяет получить карты течения, на которых интенсивность сигнала зависит от скорости кровотока. Технику ФА, как и технику СА, можно применять в варианте 2D или 3D. Ее достоинством является более сильная супрессия (приглушение сигнала) стационарных тканей и получение изображений с лучшим контрастным разрешением. Фазово-контрастная ангиография позволяет также отличить сгустки (тромбы) от текущей крови. Существенным недостатком этой техники является долгое время исследования. Диагностическая эффективность метода несколько выше, чем техники СА.

- **Техника черной крови** (black blood technique). Основывается на применении  $T_2$ -зависимой секвенции быстрого спинового резонанса, в которой текущая кровь характеризуется очень малой интенсивностью сигнала — на изображениях она черная. При этой технике хорошо визуализируется стенка сосуда.
- **Техника FISP** (true fast imaging with steady-state precession). Полученные изображения не являются типовыми  $T_1$ - или  $T_2$ -зависимыми — это промежуточные изображения с усиленным (светлым) сигналом протекающей крови. Для проведения исследования необходима современная аппаратура с учетом очень короткого времени репетиции и резонанса, которые можно получить с помощью сильных, быстро нарастающих градиентов. Из-за короткого времени исследования изображения свободны от двигательных артефактов, и их можно выполнять при свободном дыхании. Представленная секвенция позволяет получить наиболее высококачественные изображения сосудистой системы по сравнению с другими техниками, не требующими контрастного усиления, но она уступает результатам, получаемым с помощью МРА с контрастным усилением.

В настоящее время считается, что наиболее эффективным методом исследования сосудистой системы с помощью МР является ангиография после внутривенного введения парамагнитных контрастных средств. Это препараты, основным элементом которых является гадолиний — редкоземельный элемент, относящийся к лантаноидам. Достоинством препаратов является то, что они многократно (в 10—25 раз) сокращают время релаксации  $T_1$ , в результате чего значительно усиливается МР-сигнал в  $T_1$ -зависимых изображениях. Введенные в систему кровообращения контрастные средства проникают в межклеточное пространство, а затем быстро выводятся почками.

В исследованиях кровеносных сосудов используются препараты с концентрацией 0,5—1,0 моль, вводимые в дозе 0,2—0,3 ммоль/кг массы тела. Изучение начинается в момент наибольшей концентрации препарата в изучаемой сосудистой области. Время перемещения контрастного фактора от места введения (локтевая вена) до области, являющейся предметом исследования, зависит от многих факторов и определяет качество полученного результата на соответствующем техническом уровне. Определение оптимального временного промежутка между началом инъекции и началом исследования определяется тремя способами:

- исходя из опыта,
- пробной инъекцией малого количества контрастного вещества, дающей возможность определения времени его перемещения,
- автоматическим мониторингом концентрации контрастного средства в интересующей области с помощью приспособления, объединенного с диагностическим оборудованием.

Исследования с помощью МРА выполняются с использованием быстрых секвенций градиентного резонанса (в варианте 3D). Благодаря применению тонких слоев (< 2 мм) достигается хорошее пространственное контрастное изображение. Внедрение техники параллельной визуализации (SENCE, GRAPPA), дающей возможность одновременно получать изображение из нескольких элементов многоканальных приемных катушек, сократило время исследования до 2—6 секунд, что позволяет получать изображения в разных фазах перемещения контрастного фактора: артериальной, паренхиматозной и венозной (многофазовая МРА).

## Ультрасонография

Ультрасонография (УСГ) в медицинской диагностике основывается на использовании ультразвуков в диапазоне 2—10 МГц и акустических свойств мягких тканей. Головка аппарата является одно-

временно передатчиком и приемником. Пьезоэлектрический преобразователь эмитирует ультразвук, которые в теле человека подлежат абсорбции, рассеянию и отражению на границе двух

участков с разным акустическим сопротивлением. Отраженные импульсы регистрируются головкой и усиливаются. Следующие этапы — это регистрация данных в цифровой форме и построение изображения в двухмерном виде (презентация В), а затем — в трехмерном. Изображение демонстрируется на экране монитора в реальном времени.

При оценке строения человеческого тела следует учитывать следующие закономерности.

- Воздушные полости и костная ткань в принципе не проводят ультразвуковых волн, и исследование расположенных за ними структур невозможно.
- В зависимости от эхогенности тканей различают структуры гиперэхогенные (кость, физиологические и патологические обызвествления, жировая ткань), вызывающие более светлое отображение, чем соседние ткани, и гипоехогенные (резервуары жидкости, лимфатические узлы), которые проявляются как более темные по сравнению с окружающими образованиями.
- Паренхиматозные органы (печень, селезенка, корковое вещество почки, мышцы) на ультразвунограммах отображаются серым цветом разной степени.
- Структуры неэхогенные (не отражающие сигнал) — это, например, мочевой пузырь, желчь в желчном пузыре, спинномозговая жидкость в желудочках мозга.

- Акустическая тень — это уменьшение эхогенности тканей, расположенных за структурами, вызывающими значительное ослабление ультразвукового волнового пучка. Принципиальную роль здесь играет явление отражения и затухания интенсивности волн.
- Акустическое усиление — это явление, противоположное акустической тени. Характеризуется повышенной эхогенностью тканей, лежащих за структурой, ослабляющей акустические волны в незначительной степени.
- В отличие от других методов визуализации, при ультрасонографических исследованиях не придерживаются постоянных плоскостей проекции, благодаря чему органы могут быть рассмотрены под разными углами. Это требует определенного опыта в интерпретации топографических соотношений тканей.

**Доплеровская УСГ** использует явление, основывающееся на изменении частоты сигнала, отражающегося от элементов, перемещающихся по отношению к зонду, эмитирующему ультразвуки. Метод играет существенную роль при визуализации перемещающихся с кровотоком форменных элементов крови. Он позволяет определить скорость, направление и характер тока крови. Это важный метод исследования сердца и системы кровообращения.

## Сцинтиграфия

Изотопное диагностическое исследование основывается на введении излучающих субстанций в ткани и органы (обычно внутривенно) и последующей регистрации гамма-излучения с помощью детекторов, размещенных возле пациента. В сцинтиграфических исследованиях используется явление отдельного (единичного) фотона или позитронной

эмиссии (ПЭ). Названные методы в принципе не применяются для визуализации строения человеческого тела, хотя они имеют существенное значение для оценки деятельности сосудов и метаболических процессов в организме. В связи с этим в данной книге сцинтиграфическим исследованиям уделяется незначительное место.

## Представление результатов исследований

В техниках визуализации, основу которых составляют поперечные проекции (КТ, МР), существуют два способа представления результатов исследования. Первый из них основан на анализе отдельных проекций тела. Быстрому просмотру часто очень большого числа изображений помогает специальное рабочее место, так называемая диагностическая станция. Вторым способом, который все чаще применяется на практике, является представление преобразованных изображений. Их вторичная реконструкция про-

исходит обычно в соответствии с программой, разработанной производителем оборудования. Принципиальной целью процесса является увеличение диагностических возможностей и упрощение общения между радиологами и клиницистами. В настоящее время чаще всего используются следующие виды представления результатов исследований.

- **Многоплоскостная реконструкция (МР)** (multiplanar reconstruction) относится к числу основных. Изображения проекций тела де-

монстрируются в произвольной плоскости, главным образом во фронтальной или в сагиттальной. Презентации этого типа упрощают оценку анатомических и топографических отношений органов или тканей живого человеческого организма.

- **Проекция максимальной интенсивности (ПМИ)** (maximum intensity projection) отражает исключительно пиксели, представляющие области с определенным коэффициентом поглощения X-лучей. Обычно из комплекса данных выделяются те, которые соответствуют высоким показателям единиц Хаунсфильда. Метод часто используется для визуализации сосудистой системы. Наполненные окрашенной кровью артерии изображаются без окружающих их анатомических структур, как при цифровой субтрактивной ангиографии.
- **Оттененный показ поверхности (ОПИ)** (shaded surface display) основан на одновременном определении значения порогового вокселя, элиминации вокселей с самым низким сигналом, а также отображении вокселей, отобранных первыми по выбору наблюдателя. Этот алгоритм усиливает наружные контуры органов (сосуды, кишечник) и дает впечатление

трехмерной картины с хорошим отображением топографических отношений.

- **Объемная визуализация (ОВ)** (volume rendering) основывается на фиксации определенной степени прозрачности тканей. Метод позволяет одновременно визуализировать множество элементов исследуемого тканевого блока в избранной проекции.
- **Виртуальная эндоскопия (ВЭ)** (virtual endoscopy) позволяет визуализировать внутреннюю поверхность трубчатых органов (пищевод, дыхательные пути, кровеносные сосуды, мочевыводящие пути, желчные протоки). Одновременно наблюдатель может изменить поле обзора и угол рассматривания.
- Закрепление за вокселями определенного цвета в зависимости от представленного коэффициента поглощения X-лучей дает возможность получить цветные изображения внутренних органов живого организма.

Преобразование первичных данных в соответствии с названными алгоритмами может быть источником артефактов. Ранняя оценка первичных данных, а также знание анатомии и патоморфологии противодействуют их появлению.

## Методические указания

- **Конвенциональный рентгеновский снимок черепа**  
Конвенциональные обзорные рентгеновские снимки черепа выполняются во фронтальной и сагиттальной плоскостях, как и полуосевые затылочно-лобные, а также снимки основания черепа. Они дают возможность диагностировать костные изменения, оценить форму и размер турецкого седла, а также визуализировать физиологические и патологические обызвествления, металлические инородные тела и воздух в полости черепа.

- **Мозг и окружающие структуры**

*Компьютерная томография* и *магнитный резонанс* являются предпочтительными методами исследования. Оба метода позволяют отобразить анатомическое строение мозга, мозговые сосуды (ангио-ТК, ангио-МР), кровотоки через отделы мозга, черепные нервы (МР), дать функциональную картину мозга (МР). Особые достоинства МР — это большая разрешающая способность при визуализации мягких тканей, высокая способность визуализации содержимого заднего отдела основания черепа, а также неинвазивный характер исследования, ограждающего пациента от негативно-го воздействия ионизирующего излучения.

*Родничковая ультрасонография*, выполняемая с помощью акустического зонда с частотой 3,5—7,0 МГц, применяется для новорожденных и маленьких детей, до зарастания родничков черепа. Особо хорошо визуализируются желудочки мозга и околожелудочковые структуры. *Родничковая ультрасонография* из височного или чрезглазничного доступа с применением метода Доплера служит для измерения интенсивности кровотока в крупных мозговых артериях, а также позволяет отслеживать движение жидкостей в тканях мозга.

- **Сосудистая система мозга**

*Конвенциональная мозговая ангиография* обычно выполняется с помощью техники цифровой субтрактивной ангиографии; исследование редко применяется в диагностических целях. В принципе она используется как составная часть внутрисосудистых операций (ангиопластики и др.) Чаще выполняется путем катетеризации сонных или позвоночных артерий через прокол бедренной артерии. Серию снимков выполняют после избирательного введения 5—8 см<sup>3</sup> йодистого контрастного вещества.

- **Глазница и ее содержимое**

К основным методам исследования относятся УСГ, МР и КТ.

*Ультрасонография* является предпочтительным методом визуализации глазного яблока. Служит для диагностики его внутренних структур и для количественного изучения. Доплеровская УСГ позволяет оценить интенсивность движения жидкостей в сосудах глазного яблока.

*Магнитно-резонансный метод* очень хорошо отображает внутриглазничные структуры.

*Компьютерная томография* позволяет точно оценить костные стенки глазницы. Хорошо визуализирует также главные структуры глазницы: глазное яблоко, зрительный нерв и мышцы глазного яблока, особенно сзади него, где они окружены жировой тканью. Это исследование выполняется, если исчерпаны диагностические возможности УСГ и МР. Метод позволяет избежать повреждения органа зрения большой дозой X-излучения.

*Конвенциональный рентгеновский снимок* глазницы имеет ограниченное значение. Он служит для предварительной оценки стенок глазницы.

- **Каменистая часть височной кости**

Каменистая часть (пирамида) височной кости является наиболее частым предметом исследования при болезнях слухового и вестибулярного аппаратов.

*Компьютерная томография высокого разрешения* (КТВР) является предпочтительным методом, особенно в случаях утраты слуха проводящего типа. Хорошо выявляются костные элементы, в том числе слуховые косточки. Виртуальная эндоскопия дает возможность детально оценить барабанную полость среднего уха.

*Магнитно-резонансный метод* является возможным в диагностике заболеваний, протекающих с утратой слуха воспринимающего типа. Это исследование хорошо визуализирует мягкие части: улитковый нерв преддверия и лицевой нерв, а также область мозжечково-мостового угла.

*Конвенциональные рентгеновские снимки* имеют ограниченные диагностические возможности. Чаще всего выполняется путем сравнения глазничных снимков пирамид обеих височных костей, снимок сосцевидного отростка методом Шуллера [Schüller] или снимок методом Стенверса [Stenvers].

- **Носовая полость и придаточные пазухи носа**  
*Компьютерная томография* в поперечной или полуосевой проекции наиболее точно отображает костные структуры лицевой части черепа. *Конвенциональный обзорный рентгеновский снимок* часто является первым шагом к исследованию полости носа и придаточных пазух. Такой снимок позволяет оценить пути прохождения воздуха, строение носовой перегородки, состояние костных стенок придаточных пазух носа.
- **Жевательная система**  
*Интраоральный прицельный рентгеновский снимок* зуба является одним из наиболее часто выполняемых исследований в стоматологической радиологии. Применяется изометрическая проекция по методу Цешиньского [Cieszynski] либо техника прямого угла. Изображения отдельных зубов точны и лишь незначительно увеличены. Метод позволяет точно оценить коронку зуба, его корень, а также структуры, окружающие исследуемый зуб.  
*Пантомография* относится к числу основных интраоральных исследований. Ее достоинством является возможность визуализации на одном снимке состояния зубов, височно-нижнечелюстных суставов, нижней части гайморовых пазух, нижней челюсти и твердого неба.  
*Конвенциональный рентгеновский снимок* нижней челюсти выполняется в косых проекциях (методом Цешиньского) и в задне-передней проекции. Такой снимок служит для оценки ветви нижней челюсти, а задне-передний визуализирует ее тело.  
*Конвенциональная радиография* височно-нижнечелюстных суставов основывается на получении снимков в проекции методом Шуллера при открытом и закрытом рте. Исследова-

ние может быть дополнено пантомографией. Конвенциональная радиология позволяет оценить костные элементы, образующие сустав, их симметрию и область подвижности головки суставного отростка нижней челюсти по отношению к суставной поверхности височной кости.

*Магнитно-резонансный метод* дает наилучшие результаты во время исследования с помощью системы двойных поверхностных катушек, что позволяет одновременно визуализировать оба сустава во время одного сеанса МР. Благодаря этому исследованию можно оценить форму, размер и положение суставного диска, а также взаимодействие суставных поверхностей в разных фазах движения нижней челюсти.

*Ультрасонография* является предпочтительным методом исследования слюнных желез. Презентация в поперечных и продольных сечениях, а также доплеровская визуализация в цвете позволяют оценить паренхиму слюнной железы и ее васкуляризацию.

*Магнитный резонанс* является дополняющим методом исследования слюнных желез. В поперечных сечениях хорошо визуализируются поверхностные структуры околоушной железы, а во фронтальных сечениях — отношение органа к основанию черепа и большим сосудистым стволам, расположенным по соседству.

- **Мягкие части ротовой полости**

Стенки ротовой полости образуют щеки, небо и язык. *Ультрасонография* является предварительным методом исследования этих структур. Подъязычная кость и нижняя челюсть являются точками ориентации.

*Магнитно-резонансный метод* лучше всего отображает анатомическое строение этой области.



**Рис. 1.** Голова. Рентгеновский задне-передний снимок черепа:

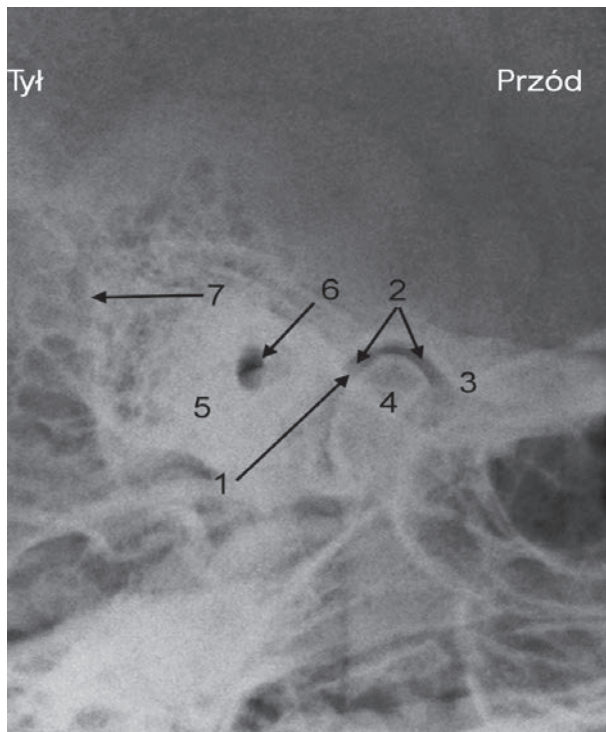
1 — венечный шов (*sutura coronalis*), 2 — сагиттальный шов (*sutura sagittalis*), 3 — лямбдовидный шов (*sutura lambdoidea*), 4 — лобная пазуха (*sinus frontalis*), 5 — глазничная часть лобной кости (*pars orbitalis superior*), 6 — верхняя глазничная щель (*fissura orbitalis superior*), 7 — безымянная линия (*linea innominata*), 8 — ячейки решетчатой кости (*cellulae ethmoidales*), 9 — клиновидная пазуха (*sinus sphenoidalis*), 10 — малое крыло клиновидной кости (*ala minor ossis sphenoidalis*), 11 — большое крыло клиновидной кости (*ala major ossis sphenoidalis*), 12 — скуловой отросток лобной кости (*processus zygomaticus ossis frontalis*), 13 — ячейки сосцевидного отростка (*cellulae mastoideae*), 14 — вершущка пирамиды (*apex partis petrosae*), 15 — круглое отверстие (*foramen rotundum*), 16 — нижняя носовая раковина (*concha nasalis inferior*), 17 — сошник (*vomer*), 18 — верхнечелюстная пазуха (*sinus maxillaris*), 19 — ветвь нижней челюсти (*ramus mandibulae*), 20 — тело нижней челюсти (*corpus mandibulae*), 21 — затылочная кость (*os occipitale*)





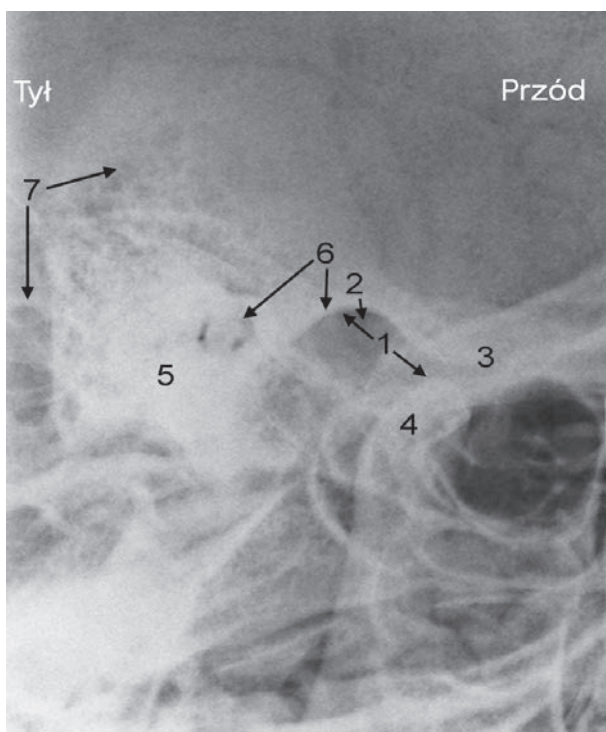
**Рис. 2.** Голова. Боковой рентгеновский снимок черепа:

1 — венечный шов (*sutura coronalis*), 2 — лямбдовидный шов (*sutura lambdoidea*), 3 — лобная чешуя (*squama frontalis*), 4 — теменная кость (*os parietale*), 5 — чешуя височной кости (*squama temporalis*), 6 — лобная пазуха (*sinus frontalis*), 7 — верхнечелюстная пазуха (*sinus maxillaris*), 8 — клиновидная пазуха (*sinus sphenoidalis*), 9 — задние решетчатые ячейки (*cellulae ethmoidales posteriores*), 10 — глазничная часть лобной кости (*pars orbitalis ossis frontalis*), 11 — турецкое седло (*sella turcica*), 12 — скат (*clivus*), 13 — каменистая часть височной кости (*pars petrosa ossis temporalis*), 14 — ячейки сосцевидного отростка (*cellulae mastoideae*), 15 — внутренняя пластинка (*lamina interna*), 16 — наружная пластинка (*lamina externa*), 17 — диплоэ (*diploe*), 18 — крыловидно-небная ямка (*fossa pterygopalatina*), 19 — твердое небо (*palatum durum*), 20 — угол нижней челюсти (*angulus mandibulae*), 21 — подъязычная кость (*os hyoideum*), 22 — глотка (*pharynx*)



**Рис. 9.** Голова. Боковой рентгеновский снимок височно-нижнечелюстного сустава по Шуллеру (рот закрыт):

1 — височно-нижнечелюстной сустав — суставная полость (*articulatio temporomandibularis — cavum articulare*), 2 — нижнечелюстная ямка (*fossa mandibularis*), 3 — суставной бугорок (*tuberculum articulare*), 4 — головка нижней челюсти (*caput mandibulae*), 5 — костный лабиринт (*labyrinthus osseus*), 6 — наружное слуховое отверстие и наружный слуховой проход (*porus et meatus acusticus externus*), 7 — сосцевидные ячейки (*cellulae mastoideae*)



**Рис. 10.** Голова. Боковой рентгеновский снимок височно-нижнечелюстного сустава по Шуллеру (рот открыт):

1 — височно-нижнечелюстной сустав — суставная полость (*articulatio temporomandibularis — cavum articulare*), 2 — нижнечелюстная ямка (*fossa mandibularis*), 3 — суставной бугорок (*tuberculum articulare*), 4 — головка нижней челюсти (*caput mandibulae*), 5 — костный лабиринт (*labyrinthus osseus*), 6 — наружное слуховое отверстие и наружный слуховой проход (*porus et meatus acusticus externus*), 7 — сосцевидные ячейки (*cellulae mastoideae*)