Handbook of MRI Technique

Fourth Edition

Catherine Westbrook
Department of Allied Health and Medicine
Faculty of Health, Social Care and Education
Anglia Ruskin University
Cambridge, UK

WILEY Blackwell

К. Уэстбрук

Магнитно-резонансная томография

СПРАВОЧНИК

3-е издание, исправленное
и дополненное

Перевод 4-го английского издания
д-ра биол. наук, профессора
И. В. Филипповича

под редакцией
д-ра мед. наук Ж. В. Шейх
и С. М. Горбунова

Москва
Лаборатория знаний

Лица, участвовавшие в создании данной книги

Кэтрин Уэстбрук MSc, DCR (R), PgC (L&T), CT Cert, FHEA

Ведущий лектор и руководитель курса по радиографии в Университете Англия Раскин, Кембридж, Великобритания.

Ведет курс для аспирантов по МРТ, является независимым обучающим консультантом, преподающим МРТ по всему миру.

Кэтрин Уэстбрук работает в области МРТ с 1990 г., она одна из первых в мире, кто получил научную степень по МРТ, имеет сертификат изучения углубленного курса МРТ. В настоящее время является членом докторантуры по образованию (МРТ), членом Академии высшего образования, квалифицированным преподавателем-клиницистом.

Кэтрин — основатель курса *Магнитно-резонансная томография: практическое руководство* (1992 г.) и бессменный его преподаватель. Кроме того, она обучает и принимает экзамены по многим другим национальным и международным курсам как для студентов, так и для аспирантов. Кэтрин участвовала в разработке первого курса по МРТ для рентгенологов, а также первого курса для студентов по ассистированию в МРТ.

Кэтрин — автор нескольких книг, включая *Магнитно-резонансную томографию: справочник*, *Магнитно-резонансную томографию: практическое руководство, Магнитно-резонансную томографию в картинках*, а также автор многих глав и статей в других изданиях. Она президент Британской ассоциации МР-рентгенологов, председатель Собрания по аккредитации в образовании по клиническому МР, почетный секретарь Британского института радиологии.

Джон Талбот MSc, DCR (R), PgC (L&T), FHEA

Ведущий лектор курса по радиографии в Университете Англия Раскин, Кембридж, Великобритания.

Работал рентгенологом в Оксфорде, начал интересоваться МРТ в 1977 г., был одним из первых рентгенологов в мире, получивших степень в области радиографии (МРТ) в 1997 г.

В настоящее время читает лекции по всему миру в качестве лектора одного из наиболее известных курсов *Магнитно-резонансная томография: практическое руководство*, обучая до 800 человек в год.

В Университете Раскин Джон составляет курсы по МРТ для студентов и аспирантов. Он ведущий лектор по МРТ для аспирантов, руководитель выпускных работ по этому направлению. Кроме того, он обучает

исследовательской методологии и ведет исследования (как зарегистрированный разработчик Apple) в области мобильных устройств с сенсорным дисплеем как средств обучения.

Джон является соавтором и иллюстратором четвертого издания книги *Магнитно-резонансная томография: практическое руководство*, четвертого издания *Магнитно-резонансная томография: справочник*, соавтором издания *Медицинские изображения: методы, отображения и трактовки*.

Среди основных научных интересов Джона — изучение параллелей между технологией и обучением, работа над новыми педагогическими подходами в виртуальной обучающей среде. Он является разработчиком МРТ-сканеров «виртуальной реальности» для обучения и других интерактивных обучающих материалов, участвовал в создании фильмов высокого разрешения и 3D-диаграмм к МРТ для всех обновлений издания МРТ на практике. Некоторые из них включены в web-содержимое последнего издания книги *Магнитно-резонансная томография: практическое руководство* и в набор образовательных МРТ-средств для устройств Apple.

Уильям Фолкнер BS RT (R), (MR) (CT), FSMRT

Работает независимым консультантом в своей собственной компании William Faulkner & Associates по обучению МРТ и КТ, а также операциям с МРТ. Среди его клиентов — организации, оказывающие медицинские услуги, разработчики оборудования, производители и компании, такие как Philips, Siemens, Toshiba и др. Преподавал по программам МРТ в штате Теннеси более 20 лет. За вклад в разработку образовательных программ по МРТ-технологии имеет ряд наград. Активно участвует в SMRT (отдел технологов магнитного резонанса) как первый президент.

Джозеф Кастильо, MSc (менеджмент в здравоохранении), Msc (МРТ)

Менеджер Отдела медицинских изображений в Национальном центре здравоохранения на Мальте, а также приглашенный лектор Университета Мальты, обучает и оценивает выпускников магистратуры при получении диплома по МРТ. Работает в области МРТ с 1995 г., имеет степень магистра в МРТ, помимо степени магистра в менеджменте в здравоохранении. Сейчас занимается диссертацией на тему образования в МРТ. В 2005 г. создал группу рентгенологов-специалистов по магнитному резонансу на Мальте, целью которой является образование в области МРТ. Группа организовала проведение нескольких симпозиумов и семинаров по МРТ.

Эрик ван Ландаут, EVL, MC

Менеджер по КТ и МРТ в ASZ Campus Аальст, Бельгия. Работал медбратом, специализировался в КТ в 1987 г. Имеет сертификат аспиран-

та по радиографии из UZA/VUB, много лет работает специалистом по приложениям в Siemens (сейчас работает по системам 1,5 T) и GE (системы 3,0 T). Среди интересов в клинике — опорно-двигательный аппарат, неврология и изображения в МРТ. В число обязанностей Эрика, связанных с образовательными проектами, входит курирование рентгенологов и младшего медицинского персонала в колледжах Брюсселя и Аальста. Является организатором курса *Магнитно-резонансная томография: практическое руководство* в Бельгии.

Предисловие

В настоящее время *Магнитно-резонансная томография: справочник* является одним из распространенных пособий мирового уровня для большинства врачей и технического персонала, использующих этот метод исследования. В монографии *Магнитно-резонансная томография: практическое руководство* (также выпущенной издательством Blackwell Publishing) в форме, доступной для врачей радиографов и радиологов, излагаются теоретические основы метода и практические аспекты его применения. Настоящий справочник предназначается в качестве руководства для начинающих врачей и описывает методы и процедуры сканирования. В то же время для более опытных специалистов излагаются методики, позволяющие улучшать качество изображения, а также выявлять и исправлять наиболее распространенные артефакты. Во многих странах недостаток финансирования и образовательных возможностей, а также сложность самого метода создают трудности для практических врачей в овладении приемами МРТ. Выход в свет книги *Магнитно-резонансная томография: справочник* восполнил этот пробел, и она оказалась полезным пособием для клиницистов. Настоящее, четвертое, издание не только преследует те же цели, но и знакомит читателя с последними достижениями в области создания новых томографов и методов реконструкции изображения. Как и ранее, в создании руководства большую и важную роль сыграли специалисты из Великобритании, США и Европы.

Магнитно-резонансной томография: справочник состоит из двух частей. В первой части рассматриваются основные теоретические принципы, лежащие в основе процедур сканирования, а также высказываются практические рекомендации по использованию сканеров, методам кардиосинхронизации и респираторной компенсации, подготовке больного и проблеме безопасности, приведены сведения о контрастных веществах. Для удобного пользования руководством в текст добавлено несколько обобщающих таблиц, а в раздел, посвященный импульсным последовательностям, включены некоторые недавно разработанные последовательности. Вторая часть представляет собой руководство по исследованию отдельных анатомических отделов методом МРТ. В ней излагаются основные приемы, использующиеся в МРТ. Для каждого отдела приводятся такие характеристики, как медицинские показания, особенности положения тела больного при проведении томографии, необходимое оборудование, возможные артефакты, и даются рекомендации по улучшению качества изображения. Кроме того, приводятся сведения по методам применения контрастных средств. Из-за обилия систем формирования изображения и различия в их радиологиче-

ских характеристиках в протоколах проведения исследований описываются главным образом импульсные последовательности, даются проекции сканирования и направления срезов. Цель описания конкретных протоколов заключается в том, чтобы помочь врачу провести исследование. Протоколам исследования того или иного анатомического отдела предшествует краткое описание его анатомического строения.

На прилагаемом сайте представлены вопросы с выбором ответа и изображения, позволяющие читателю проверить свои знания.

Магнитно-резонансная томография: справочник может стать хорошим рабочим руководством для специалистов, использующих метод МРТ, а также послужит пособием для повышения уровня их квалификации. Его нельзя отнести к клиническим пособиям, поскольку на современном книжном рынке имеется много подобных книг, специально предназначенных для врачей-клиницистов. Поэтому материал представлен в виде диаграмм и изображений, главным образом описывающих проекции и направление срезов, а также импульсные последовательности сканирования, что отражает техническую направленность справочника. Настоящее издание книги *Магнитно-резонансная томография: справочник* должно оказаться особенно полезным специалистам, проходящим подготовку для получения сертификационных дипломов, обучающихся в аспирантуре или проходящих докторантуру. Книга также может быть использована техническим персоналом, обслуживающим МР-сканеры, специалистами-радиографами и радиологами, желающими повысить свою квалификацию. Авторский коллектив надеется, что настоящее пособие отвечает всем изложенным выше целям.

Кэтрин Уэстбрук

Благодарности

Я должна выразить свою глубокую признательность авторскому коллективу в лице Джона Талбота, Уильяма Фолкнера, Джозефа Кастильо и Эрика ван Ландаута, без участия которых эта книга никогда не вышла бы в переработанном виде. Я, как всегда, высоко оцениваю их профессионализм и вдумчивость и очень благодарна им за участие.

К. У.

Сайт справочника

Данное издание имеет сайт:

www.wiley.com/go/westbrook/mritechnique

Сайт включает:

- Интерактивные вопросы с выбором ответа для самоконтроля
- Интерактивные изображения иллюстраций данного справочника.

1 Как пользоваться справочником

Введение

Целью создания настоящего пособия является систематическое объяснение основ наиболее распространенных приемов исследования с использованием метода магнитно-резонансной томографии (МРТ). Справочник состоит из двух частей.

В первой части кратко обсуждаются основные положения, относящиеся к тем теоретическим и практическим вопросам, которые часто рассматриваются во второй части. К ним относятся следующие:

- Основные параметры и компромиссы выбора.
- Импульсные последовательности.
- Феномен потока и артефакты изображения.
- Методы кардиосинхронизации и респираторной компенсации (RC).
- Подготовка больного и вопросы безопасности.
- Применение контрастных веществ.

В справочнике перечисленные вопросы не излагаются подробно, а дается лишь описание их основных положений и практических аспектов применения. Для более подробного ознакомления с физическими основами МРТ читатель может обратиться к нескольким специальным изданиям. Более подробно принципы метода изложены в книге *Магнитно-резонансная томография: практическое руководство* К. Уэстбрук, К. Каут-Рот и Джон Талбот (Wiley Blackwell, 2011, 4-е издание).

Во второй части рассматриваются вопросы МРТ-обследования следующих анатомических областей:

- Голова и шея.
- Позвоночник.
- Грудная клетка.
- Брюшная полость.
- Тазовая полость.
- Верхние конечности.
- Нижние конечности.

Обследование каждой области включает несколько отдельных процедур сканирования. Например, в гл. 8 *Голова и шея* рассмотрены процедуры сканирования головного мозга в целом, височных долей, турец-

кого седла и т. д. Для каждого сканирования описываются следующие параметры:

- Общая анатомия.
- Основные показания к проведению МРТ.
- Необходимое оборудование.
- Положение больного при сканировании.
- Рекомендуемый протокол.
- Методы оптимизации изображения.
- Подготовка больного.
- Использование контрастирующих веществ.

Общая анатомия

Для облегчения восприятия материала приводятся схематичные изображения большинства сканируемых анатомических отделов.

Основные показания к проведению МРТ

Излагаются наиболее распространенные показания к проведению сканирования определенного анатомического отдела, хотя в отдельных случаях рассматриваются и некоторые редкие причины.

Необходимое оборудование

Приводится список оборудования, необходимого для проведения сканирования определенной области, включающий тип катушки, электроды отведения и приспособления для фиксации тела больного. В первой части объясняется, как правильно использовать кардиосинхронизацию и респираторную компенсацию (см. гл. 5 *Методы кардиосинхронизации и респираторной компенсации*). Представлены наиболее часто используемые типы катушек. К их числу относятся следующие:

- **Объемные катушки** способны как передавать, так и принимать радиочастотные сигналы (РЧ-сигналы) и обычно называются трансиверами. Большинство трансиверов представляют собой квадратурные структуры, состоящие из пары катушек, которые передают и принимают сигнал, что позволяет увеличить отношение сигнал–шум (SNR). Они обеспечивают сканирование протяженных анатомических областей и однородность сигнала по всей области сканирования (FOV). Примером таких катушек является катушка для тела.
- **Катушки с линейной фазовой решеткой** содержат набор катушек и приемников. Сигналы от приемников каждой катушки объединяются, формируя изображение. Такое изображение обладает всеми преимуществами, которые обеспечивают как небольшие катушки (высокие значения SNR), так и большие объемные катушки (возможность

сканирования протяженной области). Поэтому катушки с фазовой решеткой могут обеспечить как сканирование больших участков тела, например всего позвоночника, так и однородность сигнала и его интенсивность на небольших участках, например при сканировании молочной железы. При сканировании позвоночника обычно используется этот тип катушек.

- **Катушки с объемной фазовой решеткой (параллельное изображение)** используют сигналы, полученные от многочисленных катушек или каналов, расположенных вокруг области интереса. Их использование сокращает время сканирования и/или увеличивает разрешение. При этом необходимо дополнительное оборудование и программное обеспечение. Оборудование включает в себя несколько катушек, расположенных перпендикулярно по отношению друг к другу, или одну катушку с несколькими каналами. Количество катушек или каналов может быть разным, однако обычно минимальное их число составляет 2, а максимальное — 32. При сборе данных каждая катушка обеспечивает заполнение собственных строк К-пространства (например, если совместно используется две катушки, то с участием одной заполняются четные строки К-пространства, а с участием другой — нечетные. Поэтому за одно и то же время сканирования К-пространство заполняется или в два раза быстрее, или с удвоенным разрешением). Количество катушек/каналов обозначается понятием «фактор редукции», что в принципе аналогично понятию турбофактора ETL быстрого спин-эха (см. гл. 3 *Импульсные последовательности*, ч. 1). Каждая катушка продуцирует отдельные изображения, в которых часто проявляются артефакты из-за эффекта наложения сигнала (см. гл. 4 *Феномен потока и артефакты изображения*, ч. 1). С помощью компьютерных программ можно устранить наложение сигнала и объединить изображения, полученные от каждой катушки, в одно. Большинство производителей МР-сканеров выпускают приборы, в которых используется такая технология, и их можно применять при обследовании любых областей и при любых последовательностях.
- **Поверхностные/локальные катушки** обычно используются для увеличения SNR, когда сканируемые структуры располагаются непосредственно под кожным покровом. Часто они обладают специальной конструкцией, позволяющей сканировать определенный участок тела, и обычно только принимают сигнал. При использовании катушки этого типа РЧ-сигнал обычно передается катушкой для тела. По сравнению с объемными катушками поверхностные обеспечивают получение бóльших значений SNR. Это связано с тем, что катушка находится близко к обследуемой области, что позволяет повышать амплитуду генерируемого в ней сигнала, причем шумы возникают в области расположения катушки. Однако поверхностные катушки могут получать сигнал только в пределах места их расположения и на глубине своего радиуса. Для визуализации глубоко расположенных структур следует использовать объемные катушки, катушки с фазовой решеткой, ка-

тушки параллельного изображения или локальные катушки, помещаемые внутрь объекта исследования (например, ректальные).

Выбор катушки, наиболее подходящей для обследования, служит одним из важнейших факторов, определяющих SNR изображения. Перед использованием любого типа катушки необходимо выполнить следующее:

- Проверить исправность и целостность электрических кабелей.
- Убедиться в том, что катушка укреплена надлежащим образом и используется соответствующий коннектор.
- Убедиться в том, что приемная часть катушки обращена к больному. Обычно эта часть катушки помечена. Запомните: сигнал получают обе части катушки, но из-за особенностей конструкции оптимальный сигнал получает лишь одна ее часть. Особенно это справедливо в отношении профилированных катушек, предназначенных для сканирования определенных анатомических областей. Если катушка обращена к больному неправильной частью, происходит потеря сигнала и качества изображения.
- Разместить катушку возможно ближе к сканируемой области. Катушка не должна касаться кожи, так как при сканировании она может нагреваться. В качестве изоляции обычно используют поролон или бумажные салфетки, которые помещают между поверхностью кожи больного и катушкой.
- Убедиться в том, что катушка, размещенная в области интереса, неподвижна. Смещение катушки при сканировании приводит к смазанному изображению!
- Следует всегда проверять, что приемная поверхность катушки располагается параллельно Z-оси магнита. Это обеспечивает перпендикулярную ориентацию поперечного компонента магнитного поля относительно катушки и, как следствие, получение максимального сигнала. Если плоскость катушки находится под углом к этой оси или параллельно осям X или Y, происходит потеря интенсивности сигнала (рис. 1.1).

Положение больного при сканировании

В этом пункте описано правильное положение больного, его размещение внутри катушки, а также способы фиксации тела. Правильное центрирование и расположение тела больного по отношению к трем осям координат достигаются с помощью лазерной системы ориентации (рис. 1.2):

- **Продольный прожектор центрирования** направляет луч **параллельно** (вдоль) **Z-оси** тоннеля магнита.
- **Горизонтальный прожектор** направляет луч **слева направо** вдоль **X-оси** тоннеля магнита.
- **Вертикальный прожектор** направляет луч **сверху вниз** вдоль **Y-оси** тоннеля магнита.

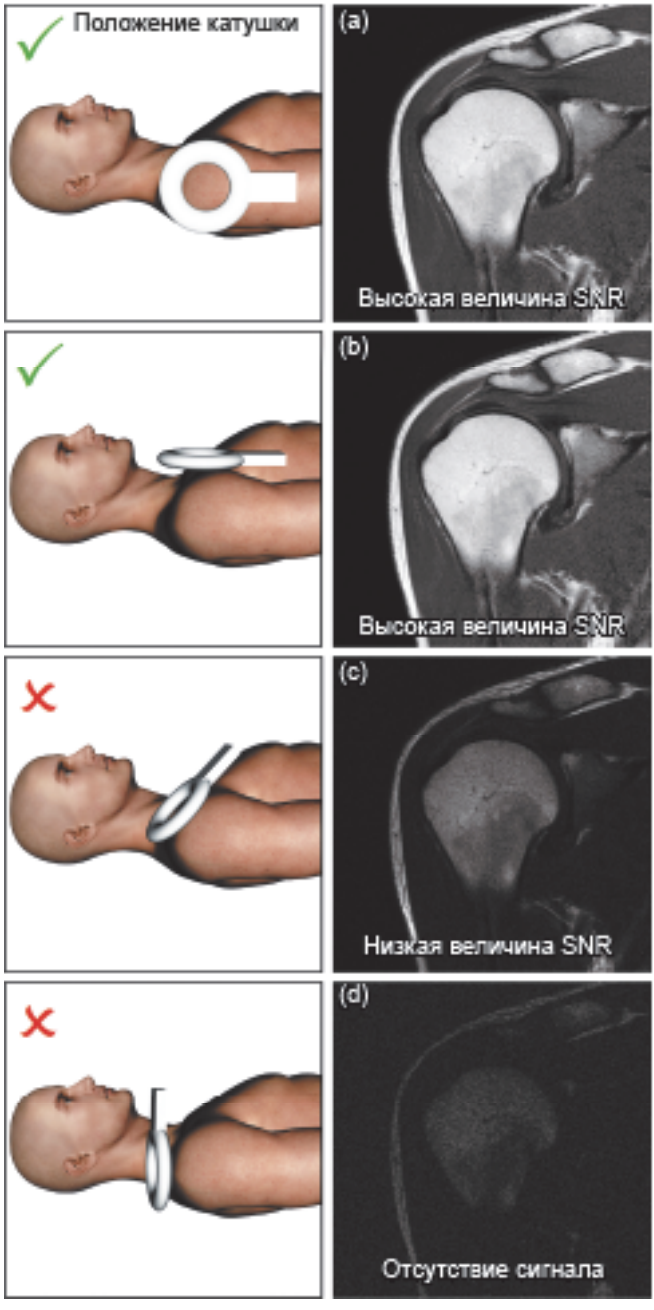

Рис. 1.1. Размещение плоской поверхностной катушки в тоннеле магнита. При получении сигнала поверхность катушки (закрашенная область) должна располагаться параллельно Z-оси. Поэтому катушку располагают таким образом, чтобы поперечное магнитное поле, возникающее по осям X и Y, по отношению к ней было сориентировано в перпендикулярном направлении

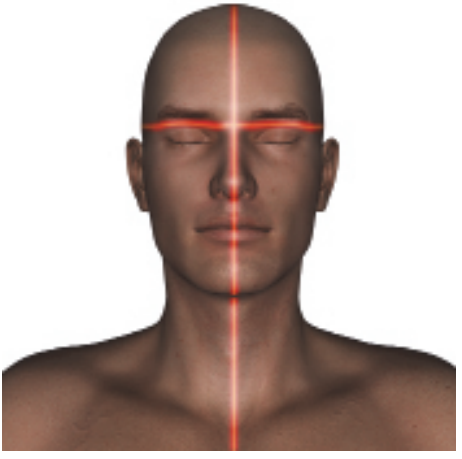

Рис. 1.2. Положение лазерных осей контроля положения тела больного

Во второй части при описании процедур предполагается, что при проведении следующих видов исследования больной находится в тоннеле магнита в положении «головой вперед»:

- Сканирование головы и шеи (всех областей).
- Сканирование всего позвоночника, а также его шейного и грудного отделов.
- Сканирование грудной клетки (всех областей).
- Сканирование области живота (отделов, расположенных над подвздошным гребнем).
- Плечо и верхняя конечность (исключая особые случаи).

При обследовании прочих анатомических отделов больного размещают в тоннеле магнита в положении «ногами вперед». В этом положении сканируют:

- Тазовую область.
- Бедра.
- Нижние конечности.

Рекомендуемый протокол

Предложенные описания служат лишь для ориентировки. Почти в каждой клинике используют свои протоколы, что зависит от типа аппаратуры и от предпочтений врача. Однако этот раздел может оказаться полезным для технического персонала, проводящего сканирование в отсутствие радиолога, или в тех случаях, когда обследование проводится столь редко, что ни радиолог, ни оператор не представляют себе, как следует выполнять такую процедуру. В представленных протоколах в основном приведены сведения о плоскостях сканирования, взвешенности изображения, выборе импульсных последовательностей и расположении срезов.

Необходимо подчеркнуть, что изложенные протоколы отражают лишь практический опыт авторов, и их никоим образом не следует рассматривать как руководство к действию!

Если протоколы, которыми вы уже пользуетесь, вполне вас устраивают, то данный раздел может представлять лишь ознакомительный интерес. Если же некоторые приемы были вам ранее неизвестны, то соответствующий протокол может оказаться полезным.

В отдельных случаях, когда это оказывается возможным (в основном для локалайзеров), даются точные координаты разметки срезов, которые обозначаются в миллиметрах жирным шрифтом. Для этой цели нельзя использовать графические координаты, поскольку они определяются точным положением больного в просвете тоннеля магнита и расположением области интереса (ROI). Точные координаты всегда обозначаются по следующей схеме:

- Слева направо от **L** к **R.**
- Снизу вверх от **I** к **S.**
- Сзади вперед от **P** к **A.**

Принята такая форма изложения протоколов, при которой некоторые параметры остаются постоянными, а некоторые меняются. Например, при описании методики обследования головного мозга в режиме коронарного спин-эха (SE) в тексте также фигурирует обозначение протонной плотности (PD/T2) последовательности.

Коронарная проекция SE/FSE PD/T2

Выполняется так же, как и при выполнении PD/T2-последовательности в аксиальной проекции, за **исключением** разметки срезов, направленных от мозжечка к лобной доле.

Это свидетельствует о том, что импульсная последовательность, временные параметры, толщина среза и матрица остаются такими же, как и в аксиальной проекции, исключая разметку срезов, которая проводится в другой области. Такой формат изложения принят для того, чтобы избежать повторений. В протоколах большинства обследований предусмотрены разделы для дополнительных последовательностей. Это дополнительные последовательности, которые обычно не используются, однако могут быть включены в протокол обследования. Конечно, часть персонала может рассматривать «дополнительные» последовательности как используемые часто, и наоборот.

Методы оптимизации изображения

Этот раздел делится на следующие подразделы:

- Технические детали.
- Возможные артефакты.

Часть 2

Анатомические области и органы тела

8 Голова и шея

Головной мозг

Височные доли

Задняя черепная ямка и внутренний слуховой проход

Гипофизарная ямка

Глазницы

Параназальные синусы

Глотка

Гортань

Щитовидная и паращитовидная железы

Слюнные железы

Височно-нижнечелюстные суставы

Сосуды

Таблица 8.1. Некоторые параметры МРТ

1,5 T		3 T	
Спин-эхо (SE)		**Спин-эхо (SE)**	
короткое TE	min до 30 мс	короткое TE	min до 15 мс
длинное TE	70 мс +	длинное TE	70 мс +
короткое TR	600–800 мс	короткое TR	600–900 мс
длинное TR	2000 мс +	длинное TR	2000 мс +
Быстрое спин-эхо (FSE)		**Быстрое спин-эхо (FSE)**	
короткое TE	min до 20 мс	короткое TE	min до 15 мс
длинное TE	90 мс +	длинное TE	90 мс +
короткое TR	400–600 мс	короткое TR	600–900 мс
длинное TR	4000 мс +	длинное TR	4000 мс +
короткое ETL	2–6	короткое ETL	2–6
длинное ETL	16 +	длинное ETL	16 +
Инверсия-восстановление (IR) T1		**Инверсия-восстановление (IR) T1**	
короткое TE	min до 20 мс	короткое TE	min до 20 мс
длинное TR	3000 мс +	длинное TR	3000 мс +
TI	200–600 мс	TI	Короткое или нулевое время ткани
короткое ETL	2–6	короткое ETL	2–6
STIR		**STIR**	
длинное TE	60 мс +	длинное TE	60 мс +
длинное TR	3000 мс +	длинное TR	3000 мс +
короткое TI	100–175 мс	короткое TI	210 мс
длинное ETL	16 +	длинное ETL	16 +
FLAIR		**FLAIR**	
длинное TE	80 мс +	длинное TE	80 мс +
длинное TR	9000 мс +	длинное TR	9000 мс + (минимальное значение TR равно 4 × TI)
длинное TI	1700–2500 мс	длинное TI	1700–2500 мс (зависит от TR)
длинное ETL	16 +	длинное ETL	16 +
Когерентное GRE		**Когерентное GRE**	
длинное TE	15 мс +	длинное TE	15 мс +
короткое TR	< 50 мс	короткое TR	< 50 мс
угол отклонения	20–50°	угол отклонения	20–50°
Некогерентное GRE		**Некогерентное GRE**	
длинное TE	min	длинное TE	min
короткое TR	< 50 мс	короткое TR	< 50 мс
угол отклонения	20–50°	угол отклонения	20–50°
Сбалансированное GRE		**Сбалансированное GRE**	
TE	min	TE	10–15 мс
TR	min	TR	min
угол отклонения	> 40°	угол отклонения	> 40°
SSFP		**SSFP**	
TE	10–15 мс	TE	10–15 мс
TR	< 50 мс	TR	< 50 мс
угол отклонения	20–40°	угол отклонения	20–40°

1,5 T и 3 T

Толщина среза 2D

тонкий	2–4 мм
средний	5–6 мм
толстый	8 мм

FOV

маленький	< 18 см
средний	18–30 см
большой	> 30 см

NEX/NSA

низкий	1
средний	2–3
множественный	> 4

PC-MRA 2D и 3D

TE	min
TR	25–33 мс
угол отклонения	30°
VENC венозной крови	20–40 см/с
VENC артериальной крови	60 см/с

Толщина среза 3D

тонкий	< 1 мм
толстый	> 3 мм

Матрица (частота × фаза)

крупная	256 × 128 или 256 × 192
средняя	256 × 256 или 512 × 256
мелкая	512 × 512
очень мелкая	> 1024 × 1024

Количество срезов 3D

маленький	< 32
средний	64
большой	> 128

TOF-MRA 2D

TE	min
TR	28–45 мс
угол отклонения	40–60°

TOF-MRA 3D

TE	min
TR	25–50 мс
угол отклонения	20–30°

Представлены значения для 1,5 T и 3 T систем. Параметры зависят от силы поля, может требоваться их корректировка для систем с очень низким и очень высоким полем.

Головной мозг

Общая анатомия (рис. 8.1 и 8.2)

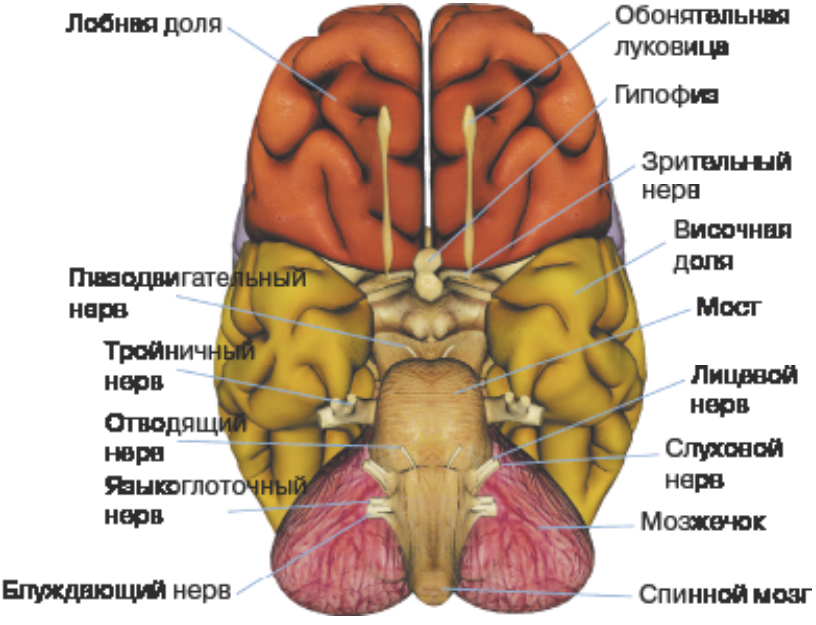

Рис. 8.1. Поперечный разрез головного мозга, показывающий нижние структуры

Основные показания к проведению МРТ

- Рассеянный склероз (МС).
- Ранняя диагностика опухоли и/или метастазов.
- СПИД (токсоплазмоз).
- Инфаркт (острое нарушение мозгового кровообращения (CVA), в противоположность преходящей ишемии мозга (TIA).
- Геморрагии.
- Утрата слуха.
- Расстройства зрительной функции.
- Инфекции.
- Травмы.
- Неврологическая симптоматика неизвестной природы.
- Предоперационное обследование.
- Обследование перед назначением лучевой терапии.
- Наблюдение за больным (после хирургического вмешательства или медикаментозного лечения).

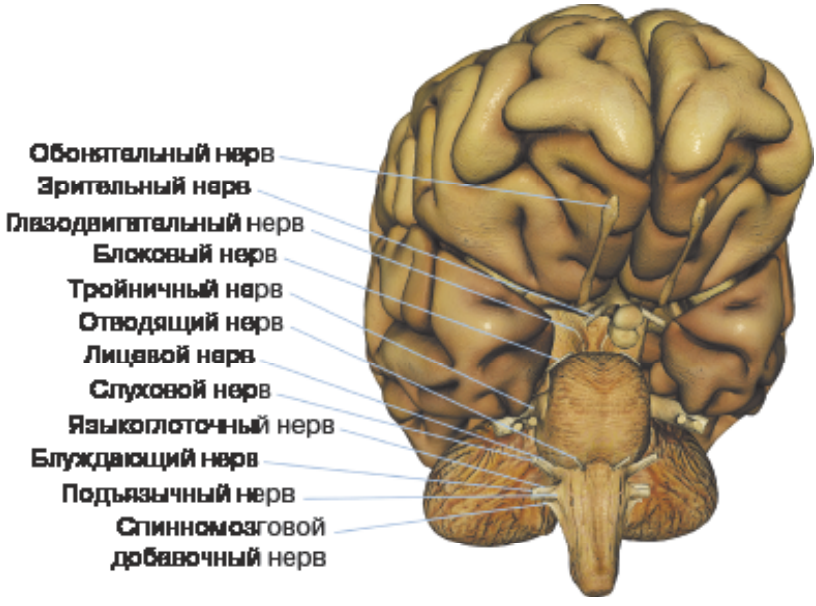

Рис. 8.2. Косой разрез головного мозга, показывающий нижние структуры

Необходимое оборудование

- Головная катушка (квадратурная или многоканальная).
- Поролоновые прокладки и синтетические бинты для иммобилизации больного.
- Беруши или наушники.
- Быстродействующие градиенты для программ EPI, для диффузионной и перфузионной визуализации.

Положение больного при сканировании

Больной лежит на подвижном столе на спине, причем голова его находится в полости магнита. Голова ориентирована строго прямо таким образом, что межзрачковая линия проходит параллельно горизонтали стола. Больного укладывают так, чтобы продольная световая ось контроля положения тела проходила по середине туловища, а горизонтальная ось — через верхне-носовую точку. Для иммобилизации используют поролоновые прокладки и эластичные бинты.

Рекомендуемый протокол

Сагиттальная проекция, в режиме SE/FSE/некогерентная (спойлерная) GRE T1-последовательностей

Выполняют средние срезы/промежутки с каждой стороны от продольной световой оси контроля в направлении от одной височной доли к другой.

В изображение включают площадь между большим затылочным отверстием и верхушкой свода черепа.

L 37 мм до R 37 мм

Аксиальная проекция с наклоном, в режиме SE/FSE PD/T2-последовательностей (рис. 8.3)

Выполняют средние срезы/промежутки от большого затылочного отверстия к верхней поверхности мозга. Срезы могут располагаться с наклоном так, чтобы они лежали вдоль оси, соединяющей переднюю и заднюю спайки мозга. Это позволяет точно локализовать обнаруженные изменения, руководствуясь анатомическим атласом (рис. 8.4 и 8.5). Часто вместо последовательности PD используют T2-FLAIR (см. *ниже*). Последовательности T2-FLAIR полезны при использовании после введения контрастирующего вещества. В связи с вкладом T1 в инверсионные последовательности «усиливающие» повреждения и структуры обладают гиперинтенсивностью, что облегчает выявление лептоменингиальных метастазов и/или менингита. Однако следует помнить, что «усиление» от менингиом не видно на T2-FLAIR-изображениях после контраста, что объясняется короткими периодами T2-релаксации. При экспресс-обследовании тяжелых больных может оказаться необходимым использовать SS-FSE- или SS-EPI-последовательности.

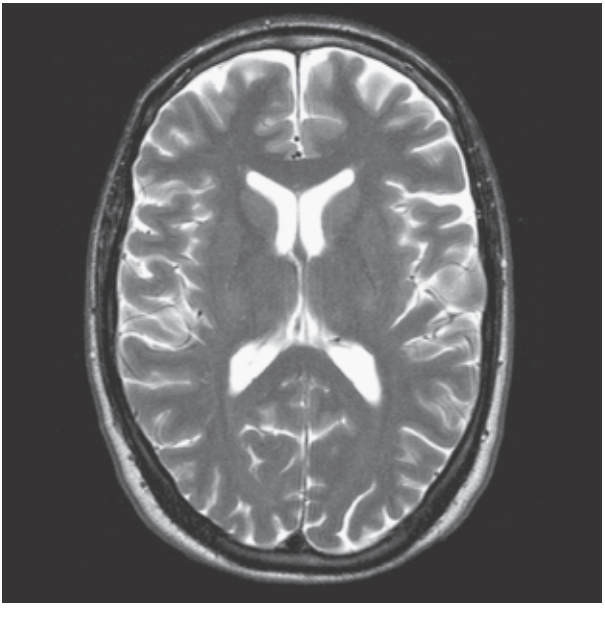

Рис. 8.3. FSE T2-взвешенное изображение головного мозга здорового человека, полученное в аксиальной проекции в наклонной плоскости

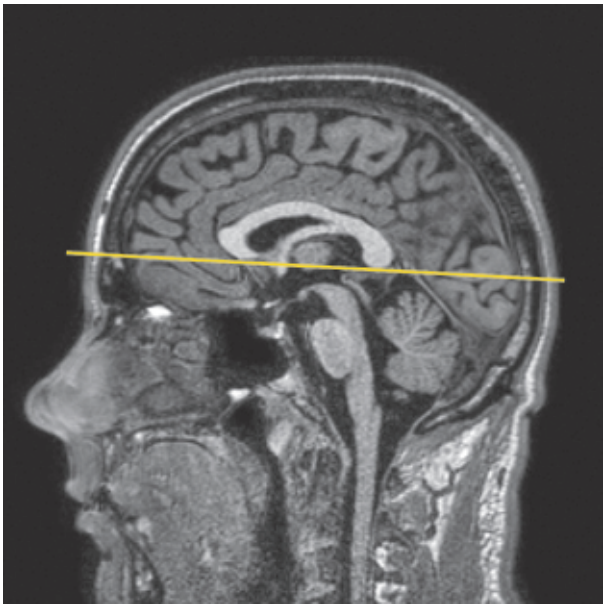

Рис. 8.4. SE T1-взвешенное изображение среза головного мозга в сагиттальной плоскости. Показана ось, соединяющая переднюю и заднюю спайки мозга

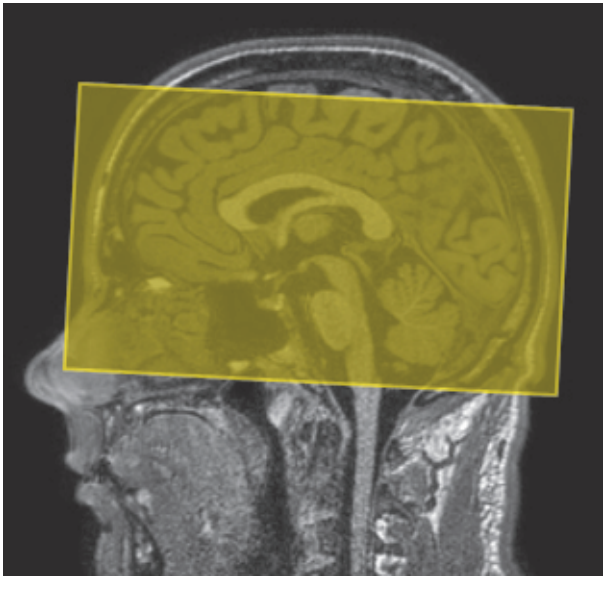

Рис. 8.5. SE T1-взвешенное изображение среза головного мозга в сагиттальной плоскости. Показаны границы выполнения срезов и положение срезов при получении изображения в аксиальной проекции в наклонной плоскости

Корональная проекция, в режиме SE/FSE PD/T2-последовательностей

Так же как для аксиальной проекции в PD/T2, но срезы выполняют в направлении от мозжечка к лобной доле (рис. 8.6).

Дополнительные последовательности

Аксиальная проекция с наклоном в режиме IR T1-последовательностей (рис. 8.7)

Срезы выполняют так же, как для аксиальной проекции с наклоном в последовательности T2.

Эта последовательность особенно подходит для проведения МРТ у детей. У детей до 5-летнего возраста белое вещество миелинизировано лишь частично, поэтому у них серое и белое вещество характеризуется близким временем релаксации T1, и на изображениях, полученных в SE T1-последовательностях, значение CNR очень мало.

Аксиальная проекция с наклоном в режиме FLAIR/EPI-последовательностей (рис. 8.8)

Срезы выполняют так же, как для аксиальной проекции с наклоном в последовательности T2.

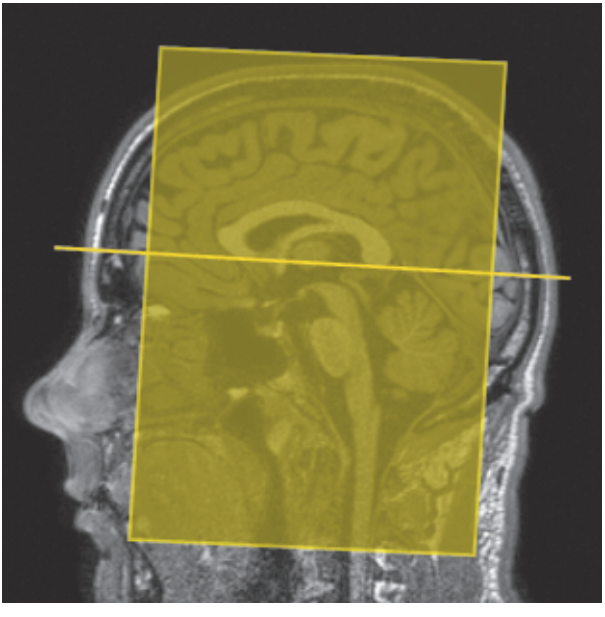

Рис. 8.6. SE T1-взвешенное изображение головного мозга в сагиттальной плоскости. Показаны границы расположения срезов и их ориентация при получении изображения в корональной плоскости

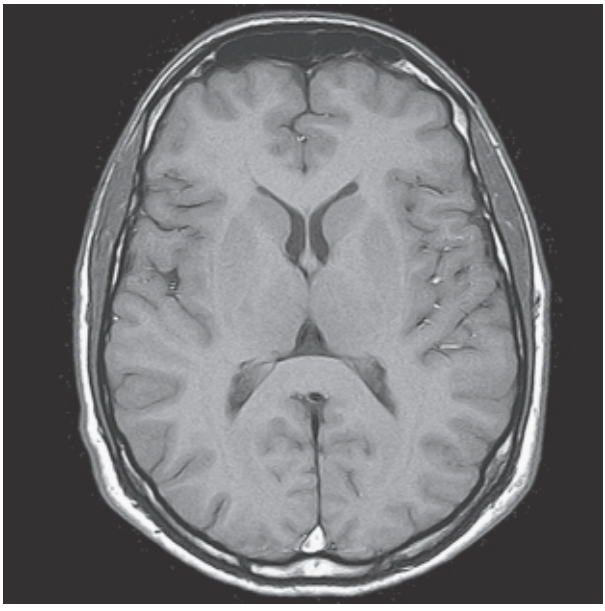

Рис. 8.7. IR T1-взвешенное изображение головного мозга в аксиальной плоскости, полученное при TI 700 мс

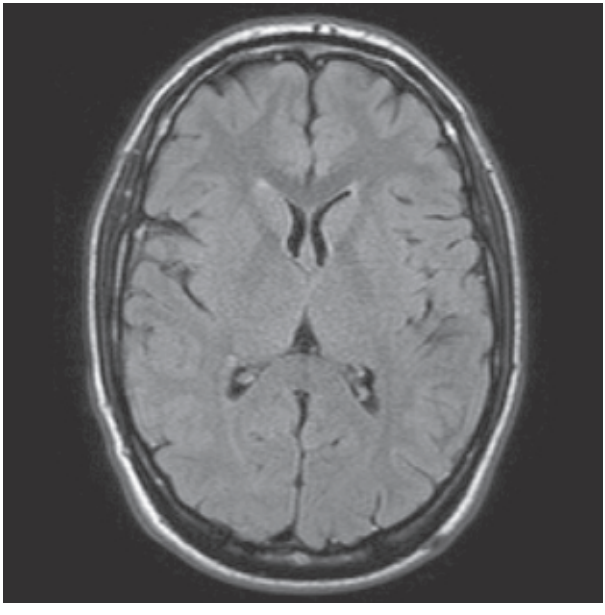

Рис. 8.8. FLAIR изображение головного мозга в аксиальной проекции в наклонной плоскости. Периваскулярные аномалии будут обладать более интенсивным сигналом, чем сигналы от CSF, которые обнуляются при использовании продолжительного TI

Эта последовательность обеспечивает быстрый сбор данных и подавление сигнала от CSF. Ее целесообразно использовать при обследовании перивентрикулярных областей или спинного мозга, например при подозрении на рассеянный склероз.

Аксиальная проекция с наклоном в режиме SE/FSE/некогерентной (спойлерной) GRE T1-последовательностей (рис. 8.9)

Срезы выполняют так же, как для аксиальной проекции с наклоном в последовательности T2.

Обычно проводят сканирование до и после контрастирования, особенно при подозрении на опухоль.

SS-FSE T2-последовательность (рис. 8.10)

Используют для проведения быстрого сканирования тяжелых больных.

Аксиальное 3D-изображение, полученное в режиме некогерентной (спойлерной) GRE T1-последовательности

Эта последовательность особенно подходит для получения изображений небольших структур головного мозга с высоким разрешением. Если хотят переформатировать срезы, то должен быть получен набор изотропных данных (см. *Объемные изображения* в гл. 2 *Основные параметры и компромиссы выбора*, ч. 1).

Аксиальная проекция с наклоном в режиме GRE/EPI T1/T2-последовательности (рис. 8.11)

В режиме этих последовательностей геморрагии видны лучше, чем при использовании SE и FSE, что объясняется их большей чувствительностью к уровню магнитной восприимчивости.

Аксиальная проекция с наклоном в режиме SE MT-последовательности

Срезы выполняют так же, как для аксиальной проекции с наклоном в последовательности T2.

Последовательность MT используется для облегчения визуализации таких патологических очагов, как метастазы и некоторые малозлокачественные опухоли, поскольку серое и белое вещество мозга при использовании этой последовательности теряет 30–40% интенсивности сигнала. Поэтому значение CNR для поврежденной и здоровой ткани увеличивается (см. гл. 3 *Импульсные последовательности*, ч. 1).

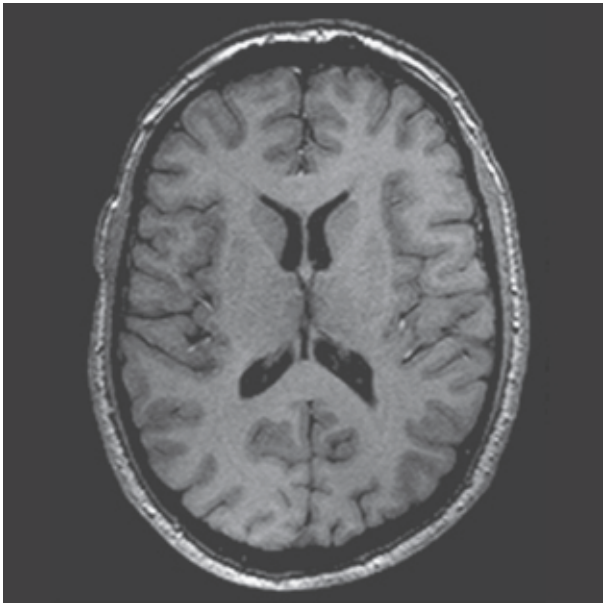

Рис. 8.9. Некогерентное (спойлерное) GRE-изображение головного мозга в аксиальной проекции в наклонной плоскости

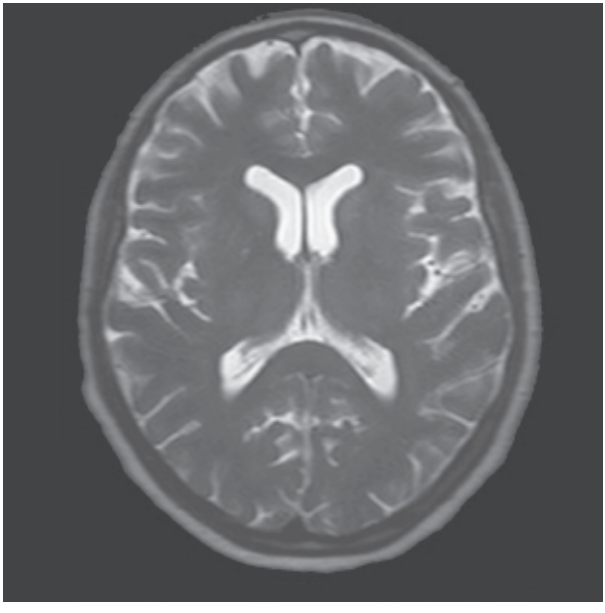

Рис. 8.10. SS-FSE T2-взвешенное изображение головного мозга