

# **Edition Radiopraxis Magnetresonanztomografie für MTRA/RT**

Elisabeth Trzebiatowski

308 Abbildungen

Georg Thieme Verlag  
Stuttgart • New York

# Техника выполнения МРТ-исследований

Эльжбета Тшебятковская

*Перевод с немецкого  
под редакцией С.С.Шлыкова*



Москва  
«МЕДпресс-информ»  
2017

УДК 616-073.756.8

ББК 53.6

T11

*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.*

*Авторы и издательство приложили все усилия, чтобы обеспечить точность приведенных в данной книге показаний, побочных реакций, рекомендуемых доз лекарств. Однако эти сведения могут изменяться.*

*Информация для врачей. Внимательно изучайте сопроводительные инструкции изготовителя по применению лекарственных средств.*

*Перевод с немецкого: В.Ю.Халатов.*

### **Тшебятковская Э.**

T11 Техника выполнения МРТ-исследований / Эльжбета Тшебятковская ; пер. с нем. под ред. С.С.Шлыкова. – М. : МЕДпресс-информ, 2017. – 136 с. : ил.

ISBN 978-5-00030-428-0

Книга написана опытным лаборантом отделения лучевой диагностики для таких же специалистов с целью помочь им проникнуть в основы МРТ. Кратко представлены физические обоснования метода, основные параметры исследования, особенности режимов и аппаратных установок для МРТ-исследования разных областей тела при различных заболеваниях и повреждениях.

Книга предназначена для лаборантов и начинающих врачей отделений лучевой диагностики, студентов медицинских вузов и факультетов.

УДК 616-073.756.8

ББК 53.6

ISBN 978-3-13-165331-4

© 2012 of the original German language edition by Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany. Original title: «Magnetresonanztomografie für MTRA/RT», by Elisabeth Trzebiatowski

ISBN 978-5-00030-428-0

© Издание на русском языке, перевод на русский язык, оформление, оригинал-макет. Издательство «МЕД-пресс-информ», 2017

## Предисловие

Настоящая книга предназначена для лаборантов отделений лучевой диагностики, которые еще недостаточно хорошо знают магнитно-резонансную томографию (МРТ), для тех, кто в медицинском колледже или училище слышал про МРТ, возможно, даже видел однажды оборудование, на котором ее выполняют, и для всех, кому нужно освоить этот метод исследования на новом рабочем месте, или кто просто хотел бы получить какие-либо сведения по данной теме.

Существует целый ряд изданий по МРТ, которые в той или иной степени полезны для лаборантов отделений лучевой диагностики. Большинство книг написаны врачами или инженерами. Данная же книга написана лаборантом отделения лучевой диагностики для таких же специалистов с целью помочь им вникнуть в основы МРТ. Имея 15-летний опыт работы, я достаточно хорошо знакома с тем, в чем нуждаются мои коллеги для безошибочной самостоятельной работы.

МРТ – очень интересный метод медицинской визуализации, с помощью которого можно получить изображения, обладающие высокой диагностической ценностью. Но этот метод предъявляет к лаборантам очень высокие требования: нужно иметь достаточный объем знаний по анатомии, физиологии, физике, уметь общаться с пациентами, знать правильные укладки для каждого вида сканирования и многое другое.

В книге просто и доступно изложены основы МРТ. Конечно, освещены не все вопросы, но это и не входило в мои планы; я хотела лишь помочь лаборантам отделений лучевой диагностики приобрести практические навыки и уверенность в себе при проведении исследований методом МРТ.

Декабрь 2011 г.  
*Elisabeth Trzebiatowski*

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	5
<b>Благодарность</b> .....	6
<b>Глоссарий и сокращения</b> .....	7
<b>1 Подготовка к исследованию</b> .....	14
<b>Общие вопросы</b> .....	14
Противопоказания .....	14
Предметы, ношение которых является противопоказанием к исследованию .	14
<b>2 Физические основы МРТ</b> .....	20
<b>Ядро атома водорода и резонанс</b> ..	20
<b>Релаксация</b> .....	21
<b>Контраст</b> .....	23
Контраст изображения – временные характеристики .....	23
<b>Импульсные последовательности</b> .	25
<b>3 Ангиография</b> .....	29
<b>Приточная ангиография</b> .....	29
<b>Фазово-контрастная ангиография</b> .	30
<b>4 Сбор данных</b> .....	33
<b>Начало исследования: экран</b> .....	33
<b>Укладка пациента</b> .....	33
<b>Плоскости</b> .....	35
<b>Катушки</b> .....	35
<b>Импульсные последовательности</b> .	35
<b>Получение изображения</b> .....	35
Коррекция интенсивности изображения (IR) – корреляция с гомогенностью .	37
Устранение артефакта «заворачивания» краев изображения (no phase wrap) ..	37
Соотношение сторон пикселя .....	37
Прямоугольная область сканирования	38
Метод переноса намагниченности ..	38
Привязка к фазам дыхания .....	38
Привязка к ЭКГ .....	38
Подавление сигнала от жировой ткани .....	38
Компенсация феноменов потока (Flow Comp.) .....	38
Компенсация дыхания .....	39
Ширина полосы частот .....	39
Параллельный сбор данных .....	40
Какие последовательности выбрать?	40
<b>Время: TE, TR, ETL, IT</b> .....	40
<b>Изображение или область сбора данных</b> .....	41
<b>Матрица</b> .....	41
<b>К-пространство</b> .....	42
<b>Артефакты</b> .....	43
Артефакты движения .....	43

Артефакт «заворачивания» краев изображения .....	44	Химический сдвиг .....	45
		Магнитная восприимчивость .....	45
<b>5 Магнитно-резонансный томограф .....</b>	<b>47</b>		
<b>Устройство магнитно-резонансного томографа .....</b>	<b>47</b>	Магнитное поле .....	48
<b>Опасности, связанные с выполнением МРТ .....</b>	<b>48</b>	Градиентные магнитные поля .....	49
		Высокочастотные импульсы .....	49
<b>6 Планирование параметров .....</b>	<b>50</b>		
<b>Общие вопросы .....</b>	<b>50</b>	<b>T2*-взвешенные изображения .....</b>	<b>51</b>
<b>T1-взвешенные изображения .....</b>	<b>50</b>	<b>T1-взвешенные изображения с использованием градиентов .....</b>	<b>51</b>
<b>T2-взвешенные изображения .....</b>	<b>50</b>	<b>Что влияет на качество изображения? .....</b>	<b>51</b>
<b>Изображения, взвешенные по протонной плотности .....</b>	<b>51</b>		
<b>7 Исследования отдельных анатомических областей .....</b>	<b>52</b>		
<b>Голова и шея .....</b>	<b>52</b>	Магнитно-резонансная холангиопанкреатография .....	64
Стандартное исследование головы ..	52	<b>Грудная клетка .....</b>	<b>65</b>
Исследование головы: область мостомозжечкового угла .....	54	Маммография .....	65
Гипофиз .....	54	Исследование сердца .....	67
Глазница .....	54	<b>Исследование конечностей .....</b>	<b>69</b>
Эпилепсия .....	56	Суставы .....	69
Кровоизлияние .....	56	Плечевой сустав .....	70
Височно-нижнечелюстные суставы ..	57	Грудина и грудино-ключичный сустав	72
<b>Исследование позвоночника .....</b>	<b>59</b>	Локтевой сустав .....	74
Шейный отдел позвоночника .....	59	Предплечье и лучезапястный сустав ..	75
Грудной отдел позвоночника .....	60	Кисть и пальцы .....	77
Поясничный отдел позвоночника ...	60	Тазобедренный сустав .....	79
Подвздошно-крестцовый сустав .....	60	Коленный сустав .....	82
<b>Исследование живота .....</b>	<b>62</b>	Голеностопный сустав .....	84
		Исследование стопы .....	85
<b>8 Отбор данных .....</b>	<b>89</b>		
<b>Исследование головы .....</b>	<b>90</b>	Рассеянный склероз .....	97
Астроцитомы .....	90	Субдуральное кровоизлияние .....	98
Глиобластома .....	91	Внутричерепное кровоизлияние .....	99
Невринома преддверно-улиткового нерва .....	92	Инфаркт мозга .....	100
Ангиома (кавернома) .....	93	Стеноз внутренней сонной артерии ..	101
Менингиома .....	94	Синус-тромбоз .....	102
Аденома гипофиза .....	95	<b>Позвоночник .....</b>	<b>103</b>
Метастазы .....	96	Миелит .....	103
		Рассеянный склероз .....	104

Перелом тел позвонков . . . . .	106	Размягчение полулунной кости, артроз лучезапястного сустава . . . . .	122
Гематома позвоночного канала . . . . .	108	Разрыв сухожилия разгибателя V пальца . . . . .	123
Операции на межпозвонковых дисках	110	Коксартроз . . . . .	125
<b>Исследование живота</b> . . . . .	112	Перелом большеберцовой кости . . . . .	126
Гемангиома печени . . . . .	112	Разрыв мениска . . . . .	128
Метастазы в печень . . . . .	113	Рассекающий остеохондроз . . . . .	129
Опухоли надпочечников . . . . .	116	Разрыв ахиллова сухожилия . . . . .	130
Рак почки . . . . .	118	Перелом пяточной кости . . . . .	131
Холестаз . . . . .	119	Опухоль V плюсневой кости . . . . .	132
Холецистолитиаз . . . . .	119	Артроз I плюснефалангового сустава	133
<b>Верхняя конечность</b> . . . . .	120		
Артроз плечевого сустава . . . . .	120		
Дистрофия полулунной кости. Артроз лучезапястного сустава . . . . .	121		
<b>9 Понятия</b> . . . . .	134		
<b>Обозначение последовательностей и параметров исследования в МР-томографах, выпускаемых различными компаниями</b> . . . . .	134		
<b>Литература</b> . . . . .	135		

# 1 Подготовка к исследованию

## Общие вопросы

Перед тем как начать исследование, необходимо объяснить пациенту, что оно собой представляет и с какой целью его выполняют.

### Внимание!

Не всякому пациенту можно выполнить МРТ, а во многих случаях требуется осторожность!

## Противопоказания

Абсолютными противопоказаниями к МРТ являются:

- ▶ установленный имплантированный электрокардиостимулятор у пациента;
- ▶ наличие у пациента железосодержащих дентальных имплантатов;
- ▶ клипса, наложенная в прошлом на аневризму мозговой артерии;
- ▶ металлический осколок, попавший в глазное яблоко;
- ▶ имплантированные нейростимуляторы.

В перечисленных ниже случаях при выполнении МРТ необходима особая осторожность:

- ▶ **Металлический осколок.** Металлические осколки вне глазного яблока не являются препятствием, но они могут нагреться или, в зависимости от локализации, внезапно сдвинуться с места.
- ▶ **Татуировки.** В принципе, татуировки не создают каких-либо трудностей при выполнении МРТ, но если пигмент содержит железо или свинец, то он может нагреться и вызвать тяжелейшие ожоги.
- ▶ **Ортодонтические скобы.** При исследовании головы и шейного отдела позвоночника наличие во рту ортодонтических аппаратов может стать причиной артефактов; сильные ферромагнетики могут изменить свои свойства.

- ▶ **Искусственные сердечные клапаны старого образца.**
- ▶ **Металлические пластины.** Не все старые модели металлических пластин изготовлены из титана, поэтому могут обладать магнитными свойствами и представлять опасность для пациента.
- ▶ **Пирсинг.** Поскольку не все модели для пирсинга сделаны из титана или благородных металлов, при выполнении МРТ необходимо повышенное внимание к пациентам с пирсингом, чтобы не пропустить украшения из магнитных материалов.

Прежде чем взять пациента на исследование, необходимо исключить все перечисленные выше пункты.

## Предметы, ношение которых является противопоказанием к исследованию

В принципе, одежда не является помехой для выполнения МРТ, но брюки и куртку на молнии необходимо снять.

Следующие предметы категорически нельзя брать с собой в помещение, где проводится исследование:

- ▶ наручные часы;
- ▶ MP3-плеер, iPod;
- ▶ мобильный телефон;
- ▶ магнитные карты;
- ▶ драгоценности.

Украшения, в том числе сделанные из драгоценного металла, могут нагреться во время исследования, а части, выполненные из магнитных металлов, могут притягиваться. Особенно опасны заколки для волос (которые пациентки часто забывают снять).

### Внимание!

Если у пациента протезирована конечность, то протез перед исследованием необходимо обязательно снять!



Пациенту надо снять также зубные протезы: они часто содержат металл, который при исследовании головы или шейного отдела позвоночника вызывает появление артефактов. Особенно важно снять протезы при введении контрастного вещества. Аллергические реакции на контрастные вещества встречаются достаточно редко, но тошнота и ощущение дурноты вполне возможны.

Беременным женщинам исследование можно выполнить только после консультации врача.

## Фобии

Одной из наиболее трудных задач, особенно для неопытных лаборантов отделений лучевой диагностики, является исследование пациентов, страдающих клаустрофобией (навязчивый страх и боязнь тесного пространства). Однако необходимо сразу оговорить: не во всех случаях речь идет об истинной клаустрофобии, связанной с перенесенной травмой.

Чаще речь идет о страхе перед неизвестным: пациенты не знают, что их ожидает. Многие слышали ужасные описания темного тесного тоннеля. Некоторые думают, что их поместят в узкое пространство, в котором они будут лишены возможности контакта с внешним миром. Большинство пациентов тяжело переносят чувство полной зависимости от чужого им человека. Вам надо объяснить пациенту, что только от него зависит, как долго продлится исследование, и что он в любой момент может попросить о его прекращении. Пациенты обычно испытывают страх перед исследованием, чувствуют себя неуверенными и сбитыми с толку.

### Внимание!

Даже если у пациента нет истинной клаустрофобии, к страху нужно отнестись очень серьезно. И в этом случае помогает лишь одно – беседа с пациентом!

Убедите пациента, что его опасения и страхи, хотя и необоснованны, тем не менее, вполне понятны. Покажите ему оборудование и объясните, что во время исследования у него будет возможность общаться с вами

по громкой связи. Предложите пациенту пробную укладку на диагностическом столе.

### Внимание!

Старайтесь разговаривать с пациентом во время исследования, особенно если он пуглив. После очередного сбора данных сообщайте пациенту о том, сколько времени еще осталось до завершения исследования.

Вам следует проявить понимание. Это требует времени и терпения, но вы должны найти и то, и другое. Если вы будете оказывать давление на пациента, это лишь неоправданно увеличит время исследования. Общие фразы типа «Вам не следует бояться!» обычно не помогают. Пациенты и сами знают, что им не надо бояться, часто им бывает от этого мучительно тяжело. Вам следует заверить пациента, что многие люди перед исследованием ощущают страх, тем не менее им удается успешно пройти исследование. Ни в коем случае не проявляйте нетерпение.

Пациенты, особенно те, кому страшно, приходят на исследование не одни. Разрешите сопровождающему лицу присутствовать при исследовании. Во многих случаях это очень помогает.

### Внимание!

- ▶ Желательно, чтобы в комнате, где проводится исследование, присутствовал человек, который сопровождает пациента. Пожатие руки пациента может творить чудеса.
- ▶ Противопоказания к пребыванию сопровождающего лица в комнате для исследования те же, что и противопоказания к исследованию.
- ▶ Обязательно выясните у сопровождающего лица, нет ли у него металлических имплантатов в теле и не имплантирован ли ему электрокардиостимулятор!
- ▶ Проверьте, не осталось ли у сопровождающего лица металлических предметов.

К сожалению, не всегда удастся исследовать пациента без помощи сильнодействующих седативных средств. В таких случаях вам следует объяснить ему, что после приема препарата у него ослабнет способность концентрировать внимание и что этот эффект, возможно, сохранится до следующего дня.

Убедитесь, что пациент не получает препараты, которые противопоказаны для проведения исследования.

#### Внимание!

Прежде чем предложить пациенту седативное средство, убедитесь в том, что его будет сопровождать домой близкий человек. Расскажите пациенту о том, как действует препарат и сколько времени длится его эффект.

У вас должна быть также возможность наблюдать за пациентом: вам ни в коем случае нельзя забывать о кнопке экстренного вызова и обязательно закрепить на пациенте пульсоксиметр!

#### Внимание!

На пациенте необходимо закрепить пульсоксиметр!

После завершения исследования попросите пациента медленно встать. Вначале он может быть несколько дезориентирован, а также жаловаться на головокружение. Предложите ему выпить воды или сока.

Лишь после того как вы убедитесь, что пациент чувствует себя удовлетворительно, можете разрешить ему покинуть диагностический кабинет с сопровождающим лицом.

#### Внимание!

Пациентов, которые получили седативные препараты, нельзя отпускать одних на улицу! В крайнем случае можете вызвать для транспортировки скорую помощь.

## Укладка пациента

При выполнении МРТ важно также правильно уложить пациента. Хотя это не имеет столь решающего значения, как при рентгенологическом исследовании, тем не менее вам следует запомнить несколько принципов. Очень важно: обнаженная кожа не должна касаться стенок тоннеля гентри или катушки томографа. Прямой контакт с ними может вызвать тяжелейшие ожоги.

#### Внимание!

Проследите за тем, чтобы открытые участки кожи не соприкасались со стенками тоннеля гентри или катушкой МР-томографа! Для этого при необходимости устанавливайте прокладку.

Даже прямой контакт кожи с кожей может иметь разрушительные последствия. Пациенту нельзя лежать, сложив руки или перекрестив ноги, или положив руки на обнаженные ноги. Соприкасающиеся участки кожи следует отделить с помощью прокладок.

#### Внимание!

Непосредственное соприкосновение кожи с кожей также недопустимо! Пациенту нельзя лежать, сложив руки или скрестив ноги!

В большинстве случаев для выполнения МРТ пациента укладывают в положение лежа на спине. Необходимо несколько раз проверить, удобно ли ему лежать, так как в этом положении ему предстоит провести неподвижно 20–30 мин.

Не забывайте: причиной большинства артефактов бывают движения, часто непроизвольные. Положение пациента должно быть удобным, лучше добиться, чтобы он расслабился и не волновался. Если что-то давит на какую-либо часть тела или причиняет боль, пациент уже через несколько минут начинает двигаться.

При исследовании пациента в положении лежа на спине под колени необходимо подкладывать валик, особенно если у пациента имеются проблемы с позвоночником. При необходимости под спину можно подложить плоскую подушку.

#### Внимание!

Подкладывание валика под колени способствует расслаблению пациента и делает исследование более безопасным.

К сожалению, достичь такого расслабления не всегда возможно. Если предстоит исследовать тазобедренные суставы, ноги должны быть выпрямлены и слегка ротируются внутрь. Однако пациент может не выдержать пребывания в таком положении в течение 20–30 мин. Поэтому, чтобы ему

было легче, под колени и приведенные друг к другу голеностопные суставы подкладывают небольшую подушку (рис. 1.1).

Чем меньше расстояние между исследуемой частью тела пациента и катушкой, тем лучше регистрируется сигнал. Поэтому подкладывать подушку под голову при исследовании головы и шейного отдела позвоночника нецелесообразно. А как быть, если пациент страдает болезнью Бехтерева или головокружением? В этом случае подушку лучше подложить под катушку, чтобы приподнять голову пациента (рис. 1.2 и 1.3).

### Внимание!

Если пациент жалуется на головокружение, голову необходимо приподнять. Для этого лучше не подушку подкладывать непосредственно под голову, а приподнять катушку, поместив под нее плотную подкладку.

К сожалению, не каждое исследование можно выполнить в положении лежа на спине. Иногда приходится укладывать пациента в положение лежа на животе или на боку. Если необходимо исследовать кисть или предплечье, то лучше уложить пациента на живот: в положении на боку места для катушки недостаточно, и могут появиться массивные артефакты. Поэтому пациента надо уложить на живот и выпрямленную руку направить вверх\* (рис. 1.4).

Чтобы пальцы в течение всего исследования оставались в разогнутом положении, целесообразно расположить кисть на твердой основе и фиксировать мешком с песком.

Иногда стопу исследуют в положении пациента лежа на животе.

### Внимание!

Если для исследования стопы нет специальной катушки и пациент не может полностью выпрямить стопу, исследование можно выполнить с помощью катушки, предназначенной для исследования головы, при этом пациент укладывается на живот\*\*.



Рис. 1.1 Положение пациента при исследовании тазобедренных суставов.



Рис. 1.2 Положение пациента, страдающего болезнью Бехтерева.



Рис. 1.3 Положение пациента, страдающего головокружением.



Рис. 1.4 Положение пациента для исследования предплечья.

\* В случае отсутствия специальной катушки для кисти/локтя. (Здесь и далее: обозначение \* – примечание редактора.)

\*\* Предлагаемый способ не всегда является оптимальным и зависит от модели томографа.

Такое положение может оказаться для пациента очень неудобным, особенно если у него имеются проблемы с шейным отделом позвоночника или плечевым суставом. Голову



**Рис. 1.5** Под подмышечную впадину также необходимо подложить удобный валик.



**Рис. 1.6** Исследование руки.



**Рис. 1.7** Валик, подложенный под противоположную сторону.

и руку необходимо укладывать правильно, используя подкладки, для того чтобы рука находилась в одной плоскости с головой (**рис. 1.5**). Если пациенту надо напрячься, чтобы вернуться в исходное положение, у него наверняка появится боль и напряжение. В результате изображение получится нечетким с многочисленными артефактами, так как пациент будет двигаться во время регистрации сигналов.

Кажущееся простым исследование руки или плечевого сустава может оказаться трудновыполнимым из-за неудобной укладки, особенно если у пациента широкие плечи. Оптимальным является положение,

при котором пациент располагается посередине тоннеля, что, естественно, не всегда осуществимо. Чтобы привести руку ближе к изоцентру, можно попытаться немного повернуть пациента на бок на сторону исследуемого сустава, так, чтобы он находился в тоннеле в косом положении и исследуемая сторона не касалась непосредственно стенок тоннеля гентри (**рис. 1.6** и **1.7**).

#### Внимание!

Старайтесь, чтобы исследуемый объект располагался посередине диагностического стола. Пациент должен лежать вдоль продольной оси стола, чтобы главные направления соответствовали ориентации «верх–низ». Лишь в таком положении можно выполнить некоторые измерения и активировать некоторые режимы получения изображения.

#### Внимание!

Фиксировать катушку для плечевого сустава поясом неудобно, так как катушке передаются дыхательные движения. Если вам нужно использовать пояс, подложите подушку между катушкой и плечом и затем зафиксируйте.

Если катушка или рука касается стенок тоннеля гентри, изображения получаются с артефактами, особенно в последовательностях, при которых подавляется сигнал от жировой ткани (**рис. 1.8**).

Конечно, очень трудно добиться, чтобы исследуемый объект при получении изображения был абсолютно неподвижным. Фирма-изготовитель предоставляет вместе с томографом вспомогательные материалы: подушки, валики и пояса. Не бойтесь использовать их (**рис. 1.9**). Таким образом вы сведете произвольные движения пациента к минимуму.

#### Внимание!

Небольшие подушки, прикладываемые к обеим ушным раковинам, позволяют фиксировать голову и являются хорошим звукоизолятором.

Другая проблема состоит в правильном выборе катушки. Вообще считается, что глубина, с которой катушка улавливает сигнал, зависит также от размера катушки. Большие катушки лучше улавливают сигнал, но при

этом создают больше шума. Для маленьких поверхностных полей нецелесообразно использовать большие фазированные катушки.

### Внимание!

Маленький объект мы исследуем поверхностными катушками.

Здесь мы еще раз напомним, что обнаженные участки кожи не должны соприкасаться со стенками тоннеля или катушками, так как это может вызвать тяжелые ожоги. Поэтому, чтобы не допустить возникновения ожогов, между поверхностью кожи и контактирующими частями аппарата всегда следует помещать прокладку в виде небольшой подушки.

Во время исследования образуется тепло, однако это не означает, что пациенту будет жарко. Включенный вентилятор подает свежий воздух в тоннель, поэтому неплохо укрыть пациента легким одеялом. И никогда не надо забывать о защите пациента от шума с помощью берушей или наушников. Иногда можно во время исследования включить для пациента музыку, поэтому желательно выяснить, какую музыку он предпочитает слушать. И конечно же, обязательно проверьте исправность кнопки экстренного вызова, даже если голова пациента в течение всего исследования находится вне аппарата и у пациента нет страха перед закрытым пространством (рис. 1.10).

### Внимание!

Если у вас есть возможность предложить пациенту наушники для прослушивания музыки, выясните заранее его музыкальные предпочтения.

### Резюме

1. Пациента надо укладывать так, чтобы обнаженные участки кожи не соприкасались со стенками тоннеля гентри или катушкой томографа.
2. Надо сделать так, чтобы пациент во время исследования лежал расслабившись и не испытывал неудобства.
3. Исследуемая часть тела во время исследования не должна двигаться.
4. Пациенту необходимо предоставить наушники для защиты от шума и показать кнопку экстренного вызова.

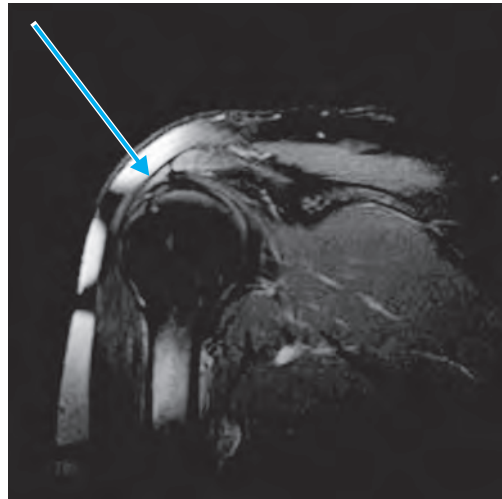


Рис. 1.8 Ложное подавление сигнала от жировой ткани.



Рис. 1.9 Небольшие подушки позволяют зафиксировать голову пациента и защитить его от шума.

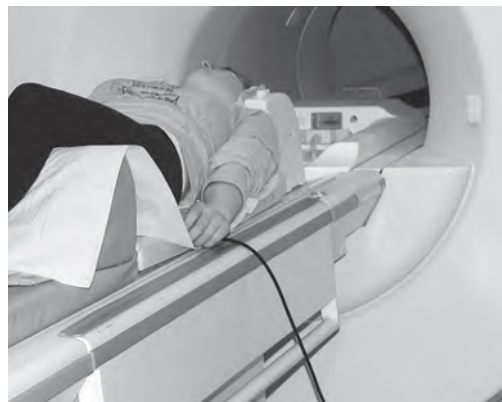


Рис. 1.10 Валик, подложенный под колени, защита от шума с помощью берушей и кнопка экстренного вызова.

действия на него  $90^\circ$  импульсом возбуждения.

- ▶ Показатель T2 определяет поперечное намагничивание, т.е. быстроту расфазировки импульсов.
- ▶ Третий тип взвешенности, так называемая взвешенность по протонной плотности, зависит от количества возбужденных спинов (протонов).

#### Внимание!

Контраст определяется временем TE и TR. Сила внешнего магнитного поля определяет продолжительность времени TR.

#### Внимание!

Взвешенность лучше всего распознают по сигналу, исходящему от жидкости: на T1-ВИ жидкость выглядит темной, на T2-ВИ – светлой (рис. 2.12 и 2.13).

Как выглядят ткани на МР-изображении, зависит от величины T1- и T2-релаксации (табл. 2.1).

На T1-ВИ ткани с длительным T1 **соответствуют темным участкам** (они восстанавливаются медленнее, и поэтому сигнал от них слабее). Ткани с **коротким T1 со-**

**ответствуют светлым участкам** (они восстанавливаются быстрее, и поэтому сигнал от них более сильный).

На T2-ВИ ткани с длительным T2 **соответствуют светлым сигналам** (сигнал от тканей убывает медленно и поэтому оказывается более сильным), ткани с **коротким T2 соответствуют темным участкам** (сигнал быстро убывает; табл. 2.2).

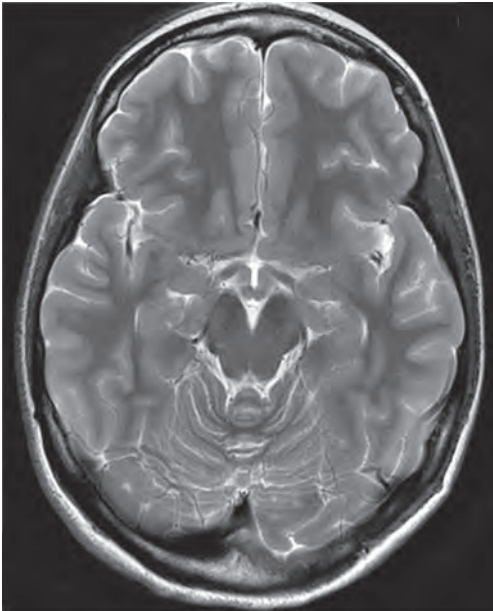
#### Внимание!

Светлые участки на МР-изображении соответствуют сильному (гиперинтенсивному) сигналу. Темные участки означают слабый (гипоинтенсивный) сигнал\*.

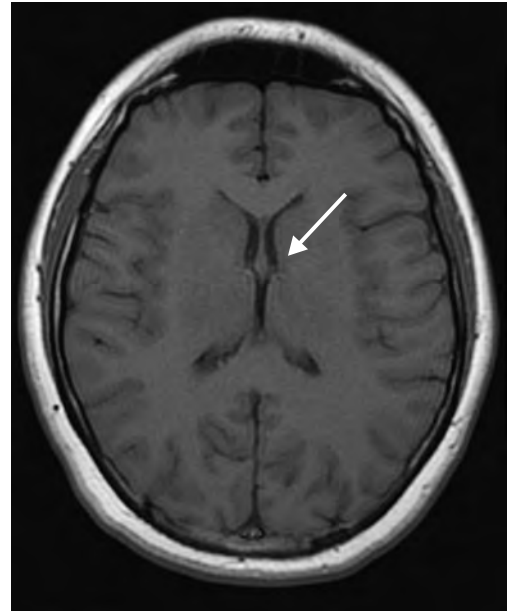
#### Резюме

1. Существуют два типа контраста:
  - ▶ T1;
  - ▶ T2.
2. T1: жидкость на изображении темная.
3. T2: жидкость на изображении светлая.

\* Если описываемый объект имеет интенсивность сигнала, равную какой-либо другой ткани в области сканирования (например, окружающей), говорят об изоинтенсивности сигнала, но обязательно с указанием той ткани, которой сигнал изоинтенсивен. Например: «опухоль изоинтенсивна окружающей ткани» или «образование изоинтенсивно мышечной ткани».



**Рис. 2.12** Типичное T2-ВИ. Жидкость соответствует белым участкам.



**Рис. 2.13** T1-ВИ. Жидкость соответствует темным участкам.

**Таблица 2.1** Связь между показателями TE, TR и контрастностью изображения

	TE короткое	TE длинное
TR короткое	T1-взвешенное	Не используется
TR длинное	Взвешенное по протонной плотности	T2-взвешенное

## Импульсные последовательности

### Спиновое эхо (SE)

Спиновое эхо – наиболее часто используемая последовательность при МРТ, особенно при исследовании костно-мышечной системы и головы (**рис. 2.14**). При исследовании в данной последовательности получают T1- и T2-ВИ.

#### Внимание!

Контраст последовательности SE определяется показателями TE и TR.

1. Посылают  $90^\circ$  импульс.
2. Чтобы изменить направление протонов на  $180^\circ$ , посылают перефазирующий  $180^\circ$  импульс.
3. Через определенное время TE измеряют получаемый сигнал.
4. По истечении времени TR посылают следующий возбуждающий импульс.

**Таблица 2.2** Интенсивность сигнала от различных тканей на T1- и T2-ВИ

	T1	T2
Кровь	Светлая	Темная
Воспаленная ткань <sup>1</sup>	Темная	Светлая
Жировая ткань	Светлая	Светлая
Жидкость	Темная	Светлая
Мышцы	Темные	Светлые
Опухоль <sup>2</sup>	Темная	Светлая
Кости <sup>3</sup>	Светлые	Светлые
Хрящи (фиброзные)	Темные	Темные
Кровоток <sup>4</sup>	Сигнал отсутствует	Сигнал отсутствует
Воздух	Сигнал отсутствует	Сигнал отсутствует

Примечания редактора:

<sup>1</sup> Вследствие наличия отека. Точнее будет сказать, что отечная ткань будет вести себя указанным образом независимо от наличия воспаления.

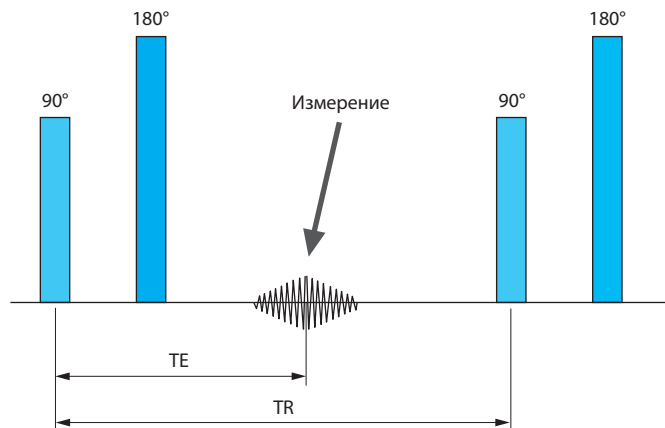
<sup>2</sup> Интенсивность сигнала от опухоли зависит от типа самой опухоли и окружающей ткани.

<sup>3</sup> За исключением компактной костной ткани, например коркового слоя кости, где сигнал будет темным при любой взвешенности вследствие очень малого количества содержания воды и, следовательно, протонов водорода.

<sup>4</sup> Медленно текущая кровь, например в венах, может давать гиперинтенсивный («светлый») сигнал на T1-ВИ.

### Быстрое спиновое эхо (FSE)

Этот режим функционирует так же, как спиновое эхо, но в течение одного TR распределяются несколько TE, поэтому получают и измеряют несколько эхо-сигналов (**рис. 2.15**).

**Рис. 2.14** Последовательность «спиновое эхо».

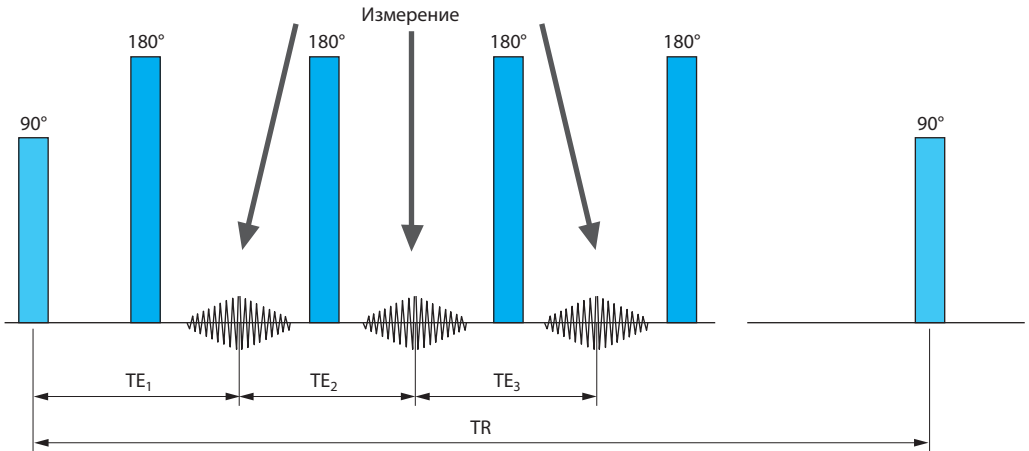


Рис. 2.15 Последовательность «быстрое спиновое эхо», или «турбоспиновое эхо».

Серии эхо-сигналов, используемые в пределах TR, обозначаются как ET (echo train).

1. Посылают импульс  $90^\circ$ .
2. Затем – импульс  $180^\circ$ .
3. По истечении одного TE измеряют сигнал. В отличие от последовательности «спиновое эхо» в течение одного TR следует второй и третий процесс получения сигнала.
4. По истечении времени TR посылают следующий возбуждающий импульс.

### Последовательность восстановления с инверсией (IR)

При последовательности восстановления с инверсией, или просто «инверсия–восстановление» (IR), можно в той или иной мере

ослабить (подавить) сигнал от некоторых тканей.

Перед посылкой возбуждающего  $90^\circ$  импульса посылают  $180^\circ$  импульс. Продольная намагниченность отклоняется на  $180^\circ$ , и спустя определенное время инверсии (TI – inversion time), которое зависит от силы магнитного поля и для каждой ткани имеет свое значение, посылают  $90^\circ$  импульс возбуждения. По истечении времени TE измеряют сигнал; спустя время TR снова посылают  $180^\circ$  импульс и т.д. (рис. 2.16).

Время TI подбирают таким образом, чтобы  $90^\circ$  импульс возбуждения был послан в тот момент, когда сигнал от подавляемой ткани достиг нулевой линии. Эти спины не возбуждаются и поэтому не участвуют в построении изображения.

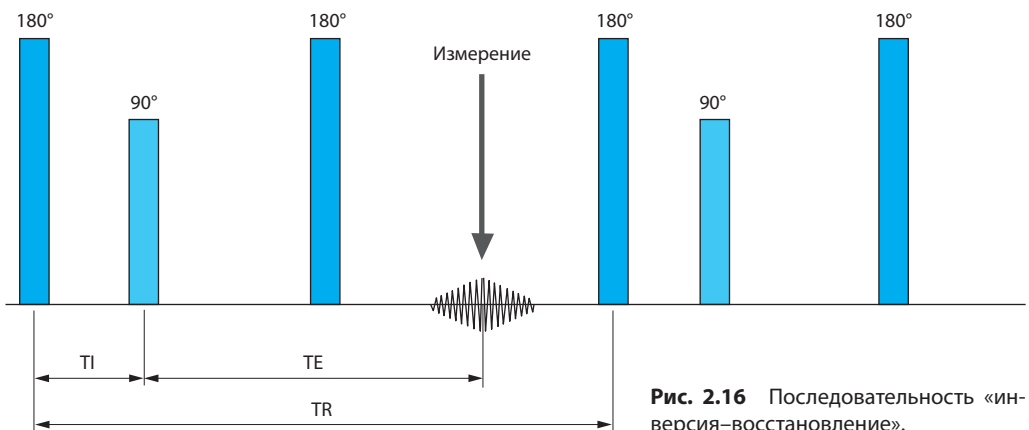


Рис. 2.16 Последовательность «инверсия–восстановление».



**Внимание!**

Время инверсии (TI) обуславливает тип ткани, сигнал от которой будет подавлен.

Последовательность восстановления с инверсией часто используют для получения изображения с подавлением сигнала от жировой ткани (так называемое **короткое время инверсии–восстановления (STIR – short time inversion recovery)**).

При напряженности магнитного поля 1,5 Тл время TI для жировой ткани составляет 150 мс.

Другой последовательностью, которая основывается на принципе инверсия–восстановление, является последовательность «восстановление с инверсией и ослаблением сигнала от жидкости» (**FLAIR – fluid-attenuated inversion recovery**). Эта последовательность позволяет подавить сигнал от жидкости. На изображениях головного мозга, полученных в режиме FLAIR, цереброспинальная жидкость (ЦСЖ) соответствует участкам с интенсивным сигналом.

Время инверсии TI при напряженности магнитного поля 1,5 Тл равно примерно 2000 мс\*.

Поскольку контрастное вещество влияет на время релаксации, исследование в режиме STIR выполняется без введения контрастного препарата.

**Внимание!**

После введения контрастного вещества нельзя выполнять исследование в режиме STIR!

**Последовательность «градиентное эхо» (GE)**

Переориентацию намагниченности на  $180^\circ$  осуществляют не с помощью реверсивных импульсов, а переключением полярности градиента, так как в этом случае время измерения получается значительно более коротким.

\* Это время, в отличие от TI для подавления сигнала от жира, не является однозначным и зависит также от TR. Поэтому изменять отношение TR/TI для FLAIR необходимо с осторожностью, чтобы сигнал от ЦСЖ оставался подавленным (среднее значение отношения TR/TI для FLAIR равно примерно 1/4).

Спин в последовательности «градиентное эхо» оказывается быстрее и отклоняется под меньшим углом, поэтому изображение менее подвержено появлению артефактов движения. Такая последовательность применяется прежде всего при исследовании грудной клетки и живота.

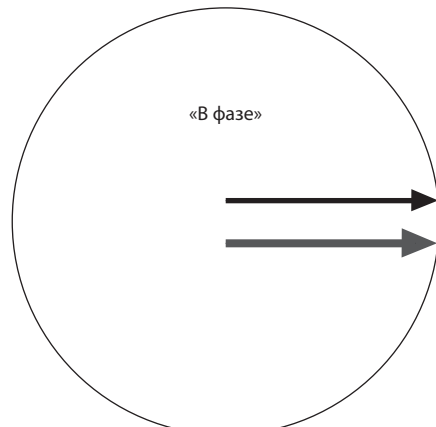
Недостаток градиентных последовательностей по сравнению с последовательностью «спиновое эхо» состоит в том, что из-за отсутствия реверсивного импульса  $180^\circ$  внутренняя неоднородность магнитного поля не выравнивается. Поэтому сигнал распадается не при T2-константе, а при T2\* (эффективное время поперечной релаксации) и зависит, таким образом, от магнитного поля. Это является причиной так называемого эффекта противоположной фазы (химический сдвиг).

В зависимости от времени TE протоны воды и жира могут находиться в одной и той же фазе или в фазе, смещенной на  $180^\circ$ , или, проще говоря, находятся «в фазе» или «в противофазе» (**рис. 2.17 и 2.18**).

**Внимание!**

Последовательности «градиентное эхо» в большей мере подвержены артефактам, обусловленным внутренней неоднородностью поля, чем последовательности «спиновое эхо».

На МРТ при времени TE, соответствующем эхо-сигналу «не в фазе», все органы имеют темную окантовку контуров. Это может стать причиной появления артефак-



**Рис. 2.17** Для напряженности магнитного поля 1,5 Тл: жир–вода в фазе 4,6.