



## ПРОТОКОЛ МРТ-ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ РАССЕЯННОМ СКЛЕРОЗЕ

---

### 3.1. СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ МРТ-ИССЛЕДОВАНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

МРТ головного мозга имеет особое значение в быстрой и точной диагностике РС, поскольку обладает высокой чувствительностью в выявлении очагов демиелинизации в белом веществе головного мозга. Однако различные факторы, связанные с проведением МРТ-исследования, включающие позиционирование пациента, выбор импульсных последовательностей, величины магнитной индукции, применение КВ, оказывают большое влияние на выявление изменений в веществе головного мозга. Предлагаемый стандартизированный протокол МРТ должен выполняться на томографе с величиной магнитной индукции не менее 1,5 Тл с максимальной толщиной срезов 3 мм, с пространственным разрешением 1×1 мм (размер воксела 3×1×1 мм) и с использованием импульсных последовательностей, указанных ниже (табл. 3.1) [4, 172].

Таблица 3.1

#### Стандартизированный протокол МРТ головного мозга [172]

##### **Первичное МРТ-исследование**

Рекомендуемые последовательности:

- T2FLAIR и/или T2/PD в аксиальной плоскости;
- 2D или 3D T2FLAIR в сагиттальной плоскости;
- 2D или 3D T1 с введением контрастного вещества.

Дополнительные последовательности:

- 2D или 3D T1 без контрастного вещества;
- 2D и/или 3D DIR;
- диффузионно-взвешенные изображения в аксиальной плоскости

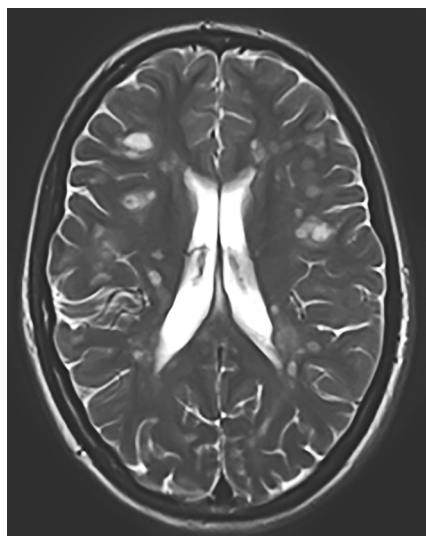
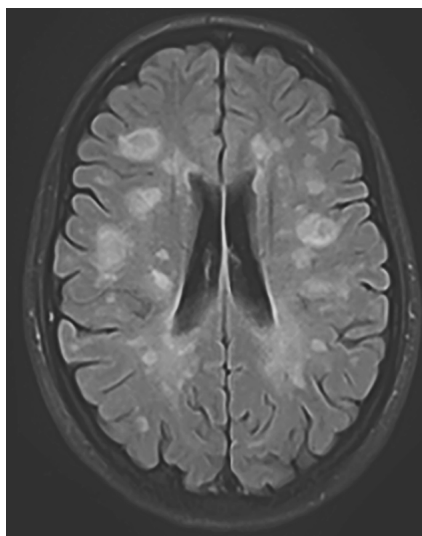
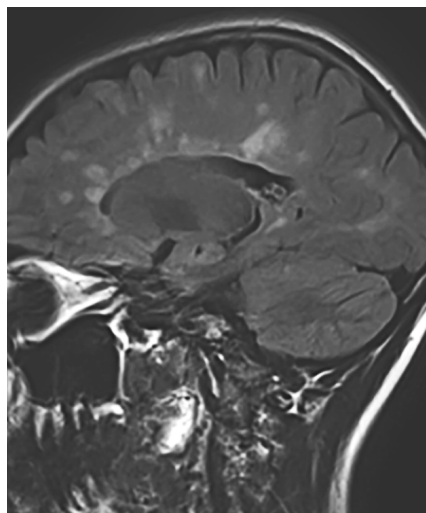
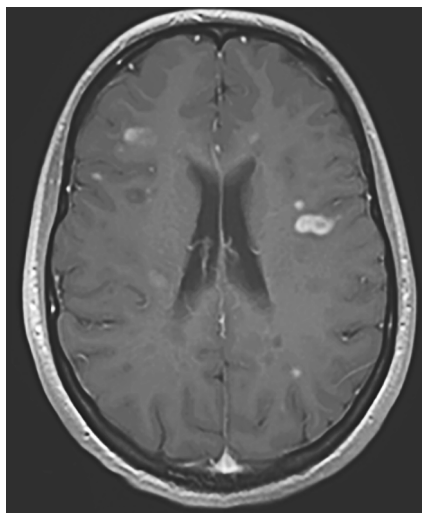
##### **Повторные МРТ-исследования**

Рекомендуемые последовательности:

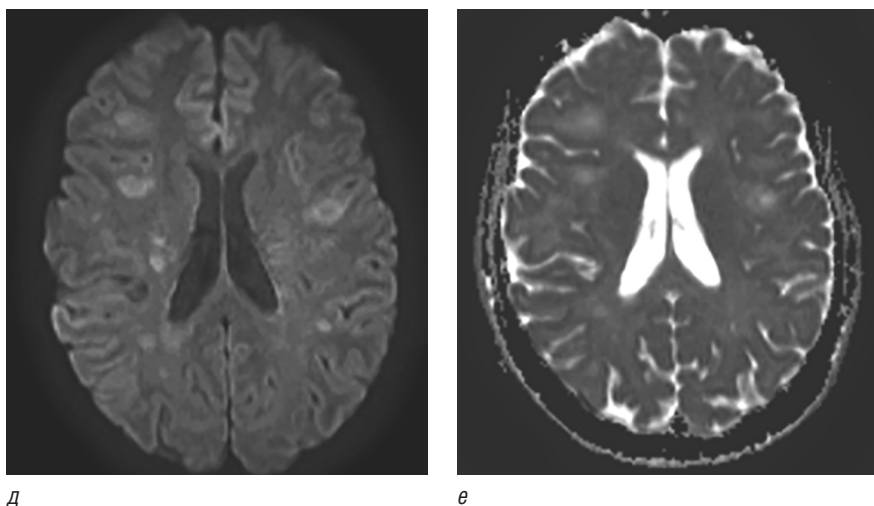
- T2-FLAIR и/или T2/PD в аксиальной плоскости;
- 2D или 3D T1 с введением контрастного вещества.

Дополнительные последовательности:

- 2D или 3D T1 без контрастного вещества;
- 2D и/или 3D DIR;
- диффузионно-взвешенные изображения в аксиальной плоскости

*а**б**в**г*

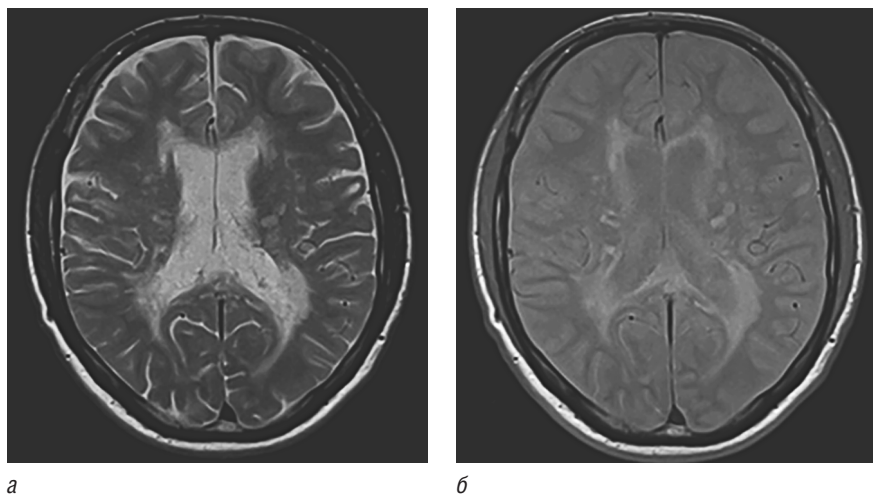
**Рис. 3.1.** МРТ головного мозга пациента с рассеянным склерозом: *а* — режим T2; *б* — T2FLAIR; *в* — T2FLAIR в сагиттальной проекции; *г* — T1 после введения контрастного вещества



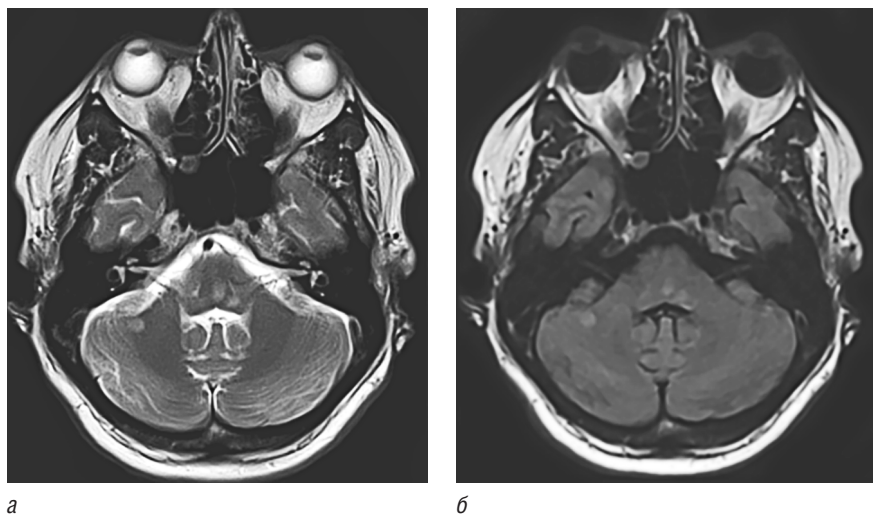
**Рис. 3.1.** Окончание. МРТ головного мозга пациента с рассеянным склерозом: *д* — диффузионно-взвешенное изображение; *е* — в режиме измеряемого коэффициента диффузии (*а, б, г, д, е* — аксиальная проекция)

Рекомендуемая длительность МРТ-протокола должна составлять 25–30 мин. Тем не менее, несмотря на все вышесказанное, выбор конкретных последовательностей и временной интервал между последующими МРТ-исследованиями должны определяться врачом в каждом случае индивидуально (рис. 3.1).

**Импульсные последовательности T2.** Наиболее чувствительными к повреждениям вещества головного мозга при РС являются T2-взвешенные последовательности с длинным временем эхо (time echo, TE) и временем повторения (time repetition, TR), поскольку очаги демиелинизации при РС обладают более длительным временем T2-релаксации по сравнению с внешне неизменным белым веществом. При этом выбор наиболее подходящих импульсных последовательностей T2 имеет решающее значение. Визуализация очагов в перивентрикулярных, суб- и юстакортикальных областях бывает затруднена в связи с наличием гиперинтенсивного МР-сигнала от цереброспинальной жидкости на T2-ВИ. Повышение контрастности очагов достигается получением изо- или гипоинтенсивного МР-сигнала от ликвора. Он имеет изоинтенсивный веществу головного мозга МР-сигнал при правильном получении изображений, взвешенных по протонной плотности (PD) с коротким TE и длинным TR. Как T2-ВИ, так и изображения, взвешенные по протонной плотности, могут быть



**Рис. 3.2.** МРТ головного мозга в режиме «двойное эхо» (T2+PD): *а* — время эхо равно 89 мс; *б* — время эхо равно 11 мс

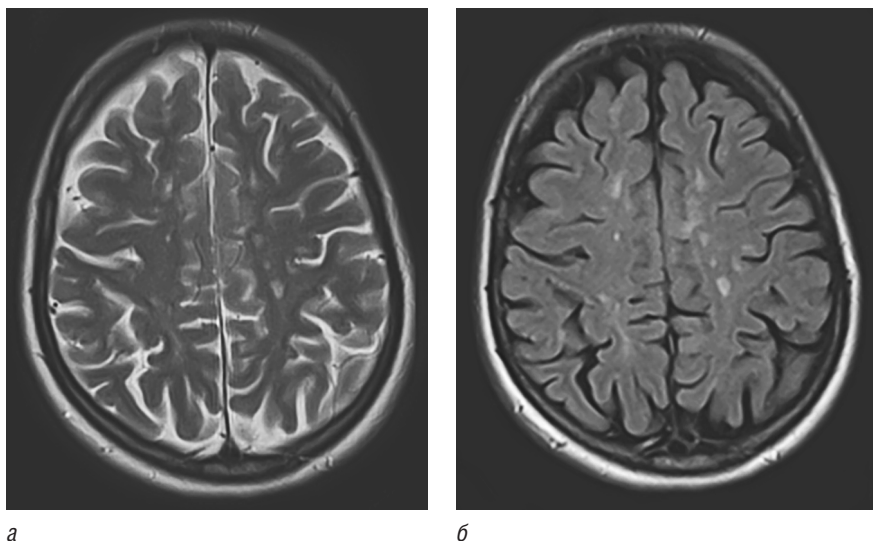


**Рис. 3.3.** Субтенториальные очаги демиелинизации у пациентки с рассеянным склерозом на МРТ-изображениях головного мозга (в аксиальной плоскости): *а* — режим T2-ВИ; *б* — режим T2FLAIR

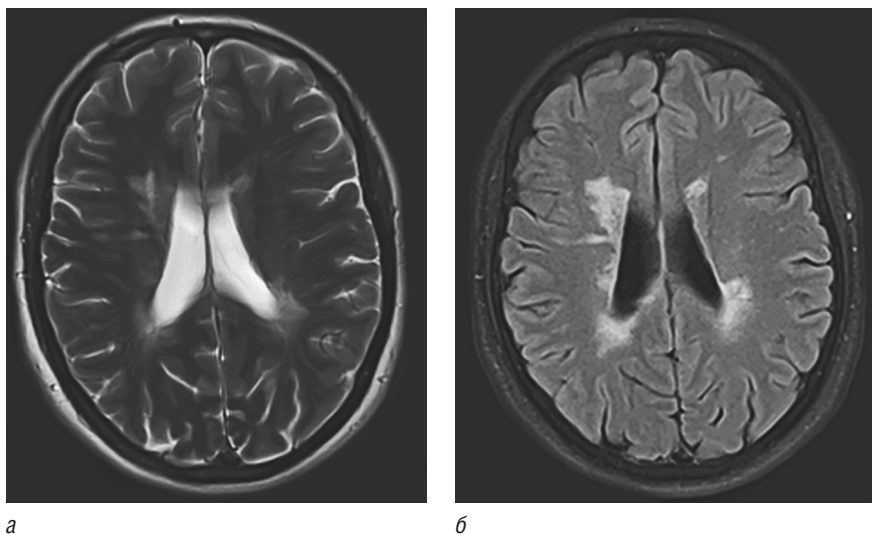
получены с использованием традиционной импульсной последовательности «двойное эхо» (T2+PD) (рис. 3.2).

Гипоинтенсивный МР-сигнал от цереброспинальной жидкости с целью улучшения визуализации очагов демиелинизации вблизи ликворосодержащих пространств при РС получают с использованием FLAIR с длинным TR, что создает эффект T2-взвешенности изображения. Данная последовательность обладает меньшей чувствительностью к определению инфратенториальных очагов по сравнению с режимом T2-ВИ, что является безусловным препятствием в ее диагностической значимости (рис. 3.3). Однако режим T2FLAIR обеспечивает явно лучшую визуализацию очагов субкортикальной и перивентрикулярной супратенториальной локализации (рис. 3.4, 3.5), что обуславливает необходимость комбинирования вышеуказанных последовательностей с целью проведения полноценной комплексной МРТ-диагностики при подозрении на РС [68, 192].

При первичном МРТ-исследовании последовательности T2 должны быть выполнены как минимум в двух плоскостях: аксиальные T2FLAIR и T2 (или PD) комбинируются с использованием T2-FLAIR в сагиттальной проекции. Это позволяет сравнивать результаты



**Рис. 3.4.** Субкортикальные очаги демиелинизации у пациентки с рассеянным склерозом на МРТ-изображениях головного мозга (аксиальная плоскость): а — режим T2-ВИ; б — режим T2FLAIR



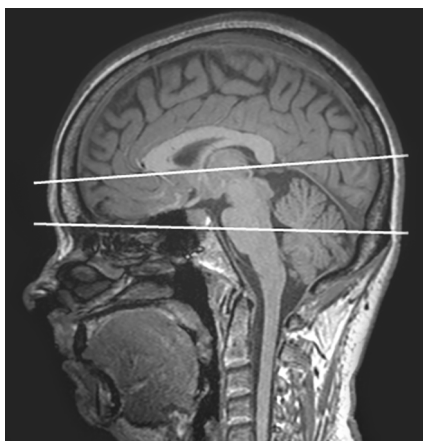
**Рис. 3.5.** Перивентрикулярные очаги демиелинизации у пациентки с рассеянным склерозом на МРТ-изображениях головного мозга (аксиальная плоскость): *a* — режим T2-ВИ; *б* — режим T2FLAIR

разных T2-последовательностей в одной плоскости, а также получать информацию о наличии и локализации очагов в мозолистом теле, что используется в дифференциальной диагностике РС с типичной асимметричной локализацией и расположением в нижних отделах мозолистого тела по сравнению с очагами сосудистого происхождения [164].

Изображения в аксиальной проекции ориентируются перпендикулярно межполушарной щели и параллельно линии, соединяющей дно турецкого седла и вершину крыши четвертого желудочка, или линии, соединяющей колена и нижнюю границу валика мозолистого тела (рис. 3.6).

Режим 3D T2FLAIR с изотропным вокселем (размер вокселя 1 мм<sup>3</sup>) может заменить выполнение режима 2D T2FLAIR, поскольку он обладает такими преимуществами, как высокое пространственное разрешение и сканирование с тонкими срезами, и подходит для рутинного МРТ-обследования пациентов [36]. Кроме того, в режиме 3D T2FLAIR наблюдается более однородное подавление МР-сигнала от ликвора, уменьшение артефактов в задней черепной ямке, тем самым достигается лучшая визуализация субтенториальных очагов [28]. К тому же при необходимости можно получить изображения высокого качества в любой плоскости.

**Исследования с применением КВ.** Применение КВ не требуется, если в режимах T2 не обнаружено патологических изменений. Когда очаги



**Рис. 3.6.** Примеры разметки аксиальных изображений по центральному сагиттальному срезу: параллельно линии, соединяющей дно турецкого седла (нижний край гипофиза) и вершину крыши четвертого желудочка (нижняя линия), и линии, соединяющей колена и нижнюю границу валика мозолистого тела (верхняя линия)

в веществе головного мозга выявлены, проведение режима T1 после введения КВ (в разовой дозировке 0,1 ммоль/кг) является обязательным при первичном МРТ-исследовании, так как это позволяет отличить активные очаги от хронических и, следовательно, используется в оценке диссеминации патологического процесса во времени. Характер накопления КВ также может помочь в дифференциальной диагностике РС с другими заболеваниями, которые могут его имитировать.

Рекомендуемое время задержки между введением КВ и началом выполнения режима T1 составляет 5–15 мин. Это время ожидания может быть использовано для проведения режима T2FLAIR. Таким образом, на общее время МРТ-исследования вышеописанная задержка не повлияет. Хотя такая схема может иметь некоторые недостатки в виде появления артефактов от тока крови в связи с низким T1 взвешиванием T2FLAIR изображений вследствие длительного времени инверсии. Временная задержка более 20 мин и применение больших доз КВ может помочь выявить дополнительные изменения в головном мозге при РС, но, как правило, в рутинной клинической практике такая схема МРТ-исследования не используется [183].

Выбор наиболее подходящей импульсной последовательности T1 после введения КВ все еще остается предметом дискуссий. Хотя стандартные режимы 2D T1 в импульсной последовательности «спиновое эхо» оказались лучше, чем «градиентное эхо» для визуализации активных



очагов РС на аппаратах с величиной магнитной индукции 1,5 Тл после введения КВ, единого мнения о том, какую импульсную последовательность следует использовать в рутинной практике, применяя сверхвысокопольные МР-томографы с величиной магнитной индукции 3,0 Тл, нет [16]. Вполне возможно, что режим 3D T1 с изотропным вокселем (размер вокселя 1 мм<sup>3</sup>) в таких случаях может быть полноценной альтернативой 2D T1-последовательности, так как использует тонкие срезы с высоким разрешением и охватывает весь объем головного мозга. Кроме того, при последующей постобработке можно получить изображения высокого качества в любой плоскости. Последние исследования показали, что использование 3D T1 в импульсных последовательностях «градиентное эхо» или «быстрое спиновое эхо» на МР-томографах с величиной магнитной индукции 3,0 Тл обладает более высокими показателями выявления накапливающих КВ очагов (особенно небольшого размера), чем стандартные 2D T1 в импульсной последовательности «градиентное эхо» с лучшим подавлением артефактов, связанных с пульсацией от сосудов [57].

**Диффузионно-взвешенная МРТ (ДВ-МРТ).** Диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) в стандартизированном протоколе МРТ головного мозга были предложены с целью дифференциальной диагностики активных очагов РС с «острой» ишемией головного мозга. Так, например, накапливающие КВ активные очаги демиелинизации будут иметь высокие показатели измеряемого коэффициента диффузии, в то время как «острые» очаги ишемии, наоборот, имеют низкие значения измеряемого коэффициента диффузии [11]. Однако в некоторых активных очагах демиелинизации в ранней стадии их эволюции (первые несколько часов или дней) было описано кратковременное ограничение диффузии (повышение интенсивности МР-сигнала на ДВИ и снижение измеряемого коэффициента диффузии, как при «острой» ишемии), что может быть связано с локальным воспалительным процессом или локальными гипоксически-ишемическими изменениями, которые сопровождаются развитием цитотоксического и вазогенного отеков [24]. Поскольку данный феномен не является закономерным для активных очагов РС, ДВ-МРТ не может заменить применение режима T1 после введения КВ для дифференциальной диагностики острых изменений при РС с хроническими. Кроме этого, ДВ-МРТ в последнее время активно применяется для дифференциальной диагностики активных очагов демиелинизации с прогрессирующей мультифокальной лейкоэнцефалопатией (ПМЛ), которая рассматривается в рамках осложнений применения некоторых препаратов, изменяющих течение РС [12].

**Импульсные последовательности для выявления кортикальных очагов.** Кортикальные очаги встречаются в достаточном количестве у пациен-

тов с РС и легко визуализируются в импульсной последовательности DIR [3]. Таким образом, DIR улучшает чувствительность МРТ для выявления очагов корковой локализации *in vivo*, но пока не позволяет различать между собой типы корковых очагов. Также чувствительными в этом смысле являются последовательности PSIR (phase-sensitive inversion recovery) и MPRAGE (high-resolution 3D magnetization-prepared rapid acquisition with gradient echo), выполненные на аппаратах с высокими величинами магнитной индукции.

**МРТ-исследования в динамике.** Повторное проведение МРТ головного мозга необходимо выполнять и тем пациентам, которые имеют клинические и рентгенологические данные, позволяющие предполагать РС, но пока еще не отвечают диагностическим МРТ-критериям, и пациентам с уже установленным диагнозом РС с целью оценки субклинической эффективности применяемой терапии. В первом случае временной интервал между первичным и повторным МРТ-исследованиями является до сих пор предметом дискуссий, но считается, что оптимальный интервал должен составлять 3–6 месяцев. Это предположение основано на том, что у большинства (80%) пациентов с КИС, которые имеют, по крайней мере, три очага поражения в белом веществе при первичном МРТ-исследовании, в последующие три месяца появляются новые очаги в режимах T2 [154]. Если новые очаги поражения белого вещества при повторном МРТ-исследовании отсутствуют, третье сканирование может быть выполнено через 6–12 месяцев.

Эти временные интервалы могут также применяться в обследовании пациентов с радиологически изолированным синдромом (РИС). Новые активные очаги, появляющиеся у пациентов с РИС при повторном МРТ-исследовании, значительно увеличивают риск развития у таких пациентов РС, хотя точный диагноз РС не может быть установлен при отсутствии соответствующей клинической симптоматики [120]. Необходимость проведения повторного МРТ-исследования спинного мозга для установки диагноза РС является пока предметом дискуссий.

У пациентов с уже установленным диагнозом РС для оценки субклинической эффективности применяемой терапии временной интервал между МРТ-исследованиями устанавливается непосредственно лечащим врачом в зависимости от применяемого препарата и клинического течения заболевания на фоне терапии.

Основной целью повторных МРТ-исследований головного мозга является выявление активных очагов (то есть новых или увеличенных в размере очагов в режимах T2 с накоплением КВ или без накопления КВ в режиме T1). Таким образом, упрощенный (по сравнению с первичным МРТ-исследованием) протокол МРТ для повторных

МРТ-исследований включает в себя T2FLAIR и/или T2/PD последовательности, а время сканирования не должно превышать более 15–20 мин. Выполнение режима T1 после введения КВ не является строго обязательным, но рекомендуется, поскольку облегчает выявление активных накапливающих КВ очагов. Особенно это важно у пациентов с большим количеством очагов, когда анализ динамики патологического процесса только по T2 изображениям весьма сложен [36].

В идеале, повторные МРТ-исследования должны быть выполнены на том же оборудовании и по тому же протоколу МРТ, что и при первичном сканировании, — это позволит максимально приблизить идентичность МРТ-исследований друг к другу. Адекватное репозиционирование также является необходимым для точной оценки МРТ изображений в динамике и, наоборот, неправильное репозиционирование может приводить к артефактам, которые могут имитировать изменения при РС. Сравнение двух последовательных серий изображений возможно с помощью так называемой субтракции — автоматизированного «вычитания» первичного из повторного МРТ-исследования с получением изображений, на которых отображены различия между ними. Однако эти автоматизированные алгоритмы не всегда технически легко реализовать в рутинной клинической практике.

### **3.2. СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ МРТ-ИССЛЕДОВАНИЯ СПИННОГО МОЗГА**

Изменения при РС затрагивают всю ЦНС, в спинном мозге выявляются в виде локальных и диффузных изменений. Поражения спинного мозга менее распространены при КИС, чем при подтвержденном РС. Тем не менее бессимптомные поражения спинного мозга встречаются у 30–40% пациентов с КИС, а также описаны при РИС [150].

Визуализация спинного мозга с помощью МРТ сопряжена с некоторыми трудностями, потому что спинной мозг является небольшой и подвижной структурой [135]. Снижение качества изображений, кроме того, может наблюдаться в связи с наличием артефактов от пульсации сердца и крупных сосудов, а также артефакта спектральной утечки, или артефакта Гиббса [43, 59, 95, 122]. Эти трудности были преодолены с помощью таких технических инноваций, как синхронизация сканирования с сердцебиением, использование пространственной пресатурации и быстрых визуализационных последовательностей [135]. Развитие и внедрение в практику катушек с фазовой решеткой для спинного мозга сделали возможной визуализацию всех его отделов в течение вполне разумного времени сканирования [169].

МРТ спинного мозга рекомендуется проводить на аппаратах с величиной магнитной индукции 1,5 Тл (табл. 3.2). В отличие от МРТ головного мозга использование аппаратов с величиной магнитной индукции 3,0 Тл не дает дополнительных диагностических и прогностических преимуществ [191].

МРТ спинного мозга обязательно выполнять в обследовании пациентов со спинальной симптоматикой в дебюте заболевания, прежде всего, чтобы исключить другую патологию, не связанную с демиелинизирующим процессом. Кроме того, МРТ спинного мозга необходимо выполнять в случаях сомнительных изменений, обнаруженных при МРТ головного мозга, например, во время дифференциальной диагностики РС с очагами сосудистого происхождения, очагами глиоза у пациентов старшего возраста, случайных находок, связанных с мигренью или хронической головной болью, а также при обнаружении одного или двух очагов, характерных для РС, но не соответствующих критериям диссеминации патологического процесса в пространстве.

В отличие от ситуации с головным мозгом, в спинном мозге реже встречаются изменения, характерные для РС. В таких ситуациях необходимо интерпретировать выявленные изменения в спинном мозге совместно с МРТ-данными головного мозга и клинической симптоматикой. Выявление изменений в спинном мозге может помочь в постановке клинического диагноза РС и использоваться с прогностической точки зрения в оценке трансформации в клинически достоверный РС [188]. Кроме того, наличие асимптомных спинальных очагов у пациентов с очагами в головном мозге, у которых предполагается РИС, ассоциируется с повышенным риском быстрого прогрессирования либо в КИС, либо в ППРС.

Таблица 3.2

### Стандартизированный протокол МРТ спинного мозга [172]

#### Сагиттальные изображения

Рекомендуемые последовательности:

- T2 и PD в импульсной последовательности «быстрое спиновое эхо»;
- STIR (как альтернатива PD);
- T1 в импульсной последовательности «спиновое эхо» с введением контрастного вещества (если в режиме T2 выявлены очаги).

Дополнительные последовательности:

- PSIR (как альтернатива STIR на шейном уровне)

#### Аксиальные изображения

Рекомендуемые последовательности:

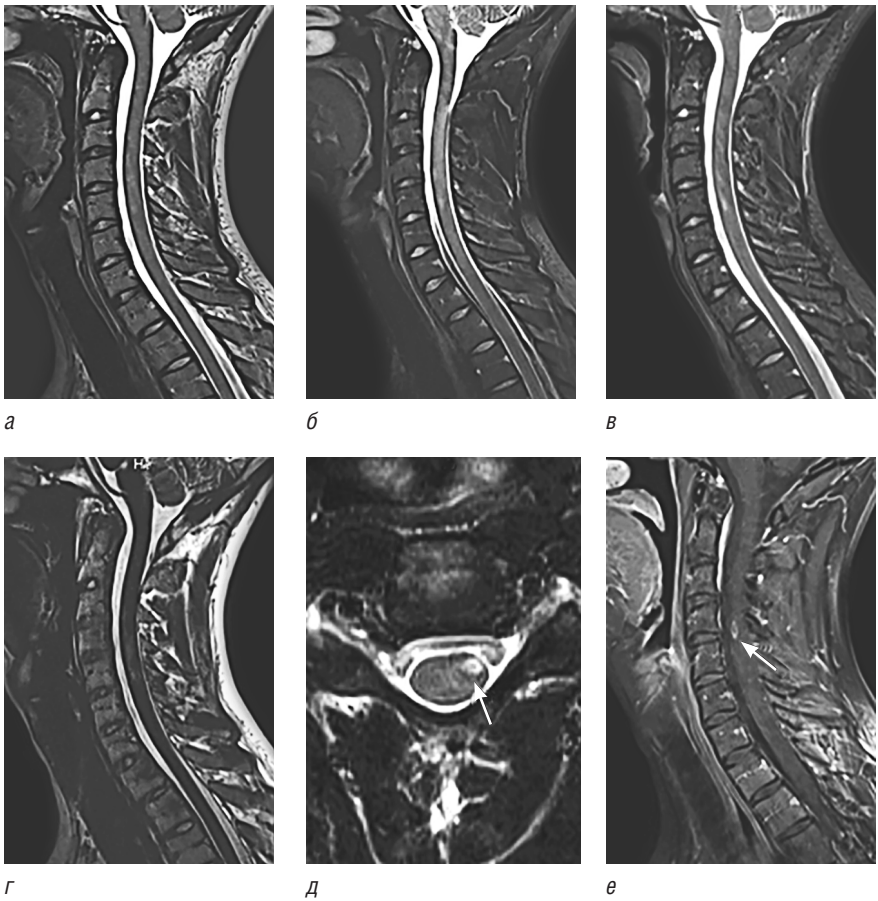
- 2D и/или 3D T2 в импульсной последовательности быстрое «спиновое эхо»;
- T1 в импульсной последовательности «спиновое эхо» с введением контрастного вещества (если в режиме T2 выявлены очаги)

**Импульсные последовательности T2.** Выбор соответствующей T2 последовательности необходим для получения качественного и диагностически значимого изображения. Сагиттальные изображения позволяют увидеть большие по протяженности отделы спинного мозга, но обладают ограничениями в виде частичной потери информации в связи с небольшой толщиной последнего, а также из-за наличия артефактов от пульсации спинномозговой жидкости. Стандартные последовательности «спиновое эхо» и «быстрое спиновое эхо» (такие как T2 и PD) с пространственным разрешением  $3 \times 1 \times 1$  мм на сегодняшний день следует считать основными для визуализации спинного мозга [76].

Правильный выбор TE в режимах T2 в импульсной последовательности «инверсия—восстановление» является решающим для получения качественных изображений спинного мозга, что улучшает выявление очагов в спинном мозге, а это особенно важно при наличии диффузных его поражений (рис. 3.7). Импульсная последовательность STIR в этом плане имеет более высокую чувствительность перед стандартными и быстрыми режимами T2 в импульсной последовательности «спиновое эхо», поскольку погашает сигнал от жировой ткани, тем самым повышая контрастность между «интактным» спинным мозгом и очагами в нем. Однако по сравнению с другими режимами T2 последовательность STIR также имеет высокую чувствительность к артефактам, связанным с пульсацией спинномозговой жидкости (которые могут приводить к ложноположительным интерпретациям), невысокое качество получаемых изображений и требует более длительного времени исследования. По этой причине режим STIR не следует рассматривать как альтернативу другим режимам T2, а выполнять его и анализировать его результаты вместе с данными режимов T2.

Альтернативой режиму STIR для визуализации спинного мозга в сагиттальной проекции является режим T1 в импульсной последовательности «инверсия—восстановление» в комбинации с режимом PSIR. Эта последовательность обладает большей чувствительностью к выявлению очагов в спинном мозге, чем STIR и T2 в импульсной последовательности «быстрое спиновое эхо», хотя опробована она пока только на шейном отделе спинного мозга. Режим T2FLAIR очень хорошо используется для обнаружения очагов в головном мозге, но к выявлению поражений спинного мозга T2FLAIR менее чувствителен, чем стандартные и быстрые T2-последовательности.

При выявлении очагов в спинном мозге в сагиттальной проекции для уточнения и оценки изменений относительно поперечника спинного мозга необходимо выполнить исследование в аксиальной проекции. Учитывая малую площадь поперечного сечения спинного мозга, нужно



**Рис. 3.7.** МРТ спинного мозга пациента с рассеянным склерозом в сагиттальной проекции в режимах T2 в импульсной последовательности «спиновое эхо» (а), в импульсной последовательности «инверсия–восстановление» с различными показателями TE (времени эха): 204 мс (б), 57 мс (в), 9,8 мс (г) и в режиме T1 после введения контрастного вещества (е). В левых отделах спинного мозга выявляется очаг демиелинизации (указан стрелкой), визуализируемый в режиме T2 в аксиальной проекции (д), интенсивно кольцевидно накапливающий контрастное вещества в режиме T1 (указан стрелкой), на фоне диффузных изменений в спинном мозге, определяемых в различных режимах в сагиттальной плоскости

использовать последовательности с высоким разрешением. Для этого применяют 2D импульсные последовательности «градиентное эхо» с коротким TE, которые обладают быстрым временем сканирования и относительно устойчивы к артефактам от пульсации ликвора. Быстрые «спиновое эхо» последовательности T2 с тонкими срезами требуют большего времени сканирования, но более чувствительны к выявлению очагов, особенно на грудном уровне. Сочетание режимов PSIR и T2 с высоким разрешением в аксиальной проекции чувствительно для визуализации очагов на шейном уровне, но требует длительного времени, в связи с чем ограничено в применении в клинической практике.

**Исследования с применением КВ.** Значение и необходимость применения КВ при МРТ-исследовании спинного мозга до сих пор обсуждаются в литературе. Показано, что только небольшой процент очагов в спинном мозге накапливает КВ и касается это тех очагов, которые напрямую связаны с клинической симптоматикой. При этом рекомендуется использовать стратегию «одного окна», то есть проводить МРТ-исследование спинного мозга непосредственно сразу после МРТ головного мозга с КВ, что позволяет сэкономить дополнительное введение КВ и время сканирования. Таким образом, для МРТ-исследования и головного, и спинного мозга используется однократная доза КВ.