

**Н. М. Мэйджор, М.У. Андерсон,  
К. Э. Хелмс, Ф.Э. Каплан, Р. Дассо**

# **МРТ КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

**Перевод с английского  
под редакцией  
профессора А.В. Араблинского**



**Москва  
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА  
«ГЭОТАР-Медиа»  
2024**

# Содержание

Список сокращений и условных обозначений.....	14
Предисловие к изданию на русском языке.....	15
Предисловие к изданию на английском языке.....	16
<b>1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МРТ КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>18</b>
Как получить изображения высокого качества?.....	18
Двигательные артефакты.....	18
Сигнал и разрешение.....	19
Контрастность тканей (тканевое разрешение).....	22
Импульсные последовательности.....	22
Подавление сигнала от жировой ткани.....	29
Гадолиний.....	32
МР-артрография.....	34
Костная и мышечная ткань.....	34
Кости.....	35
Нормальная МРТ-картина.....	35
Наиболее эффективные последовательности.....	35
«Ловушки».....	36
Суставной хрящ.....	36
Нормальная МРТ-картина.....	36
Наиболее эффективные последовательности.....	36
Фиброзный хрящ.....	36
Нормальная МРТ-картина.....	36
Часто используемые последовательности: мениск.....	37
«Ловушки».....	37
Часто используемые последовательности: суставная губа плечевого сустава или вертлужной впадины.....	37
Сухожилия и связки.....	38
Нормальная МРТ-картина.....	38
Наиболее эффективные последовательности.....	38
«Ловушки».....	38
Мышцы.....	39
Нормальная МРТ-картина.....	39
Эффективные последовательности.....	39
Синовиальная оболочка.....	40
Нормальная МРТ-картина.....	40
Эффективные последовательности.....	40
«Ловушки».....	40
Области применения.....	40
Список литературы.....	41
<b>2. КОСТНЫЙ МОЗГ.....</b>	<b>44</b>
Визуализация костного мозга.....	44
Анатомия и функция костного мозга в норме.....	45
Губчатая кость.....	45

Красный костный мозг .....	45
Желтый костный мозг .....	46
Конверсия костного мозга .....	46
Варианты распределения красного костного мозга в норме .....	46
МРТ-картина костного мозга в норме .....	49
Желтый костный мозг .....	49
Красный костный мозг .....	49
Неоднородность костного мозга .....	50
Патологические изменения костного мозга .....	51
Нарушения пролиферации клеток костного мозга .....	52
Нарушения замещения клеток костного мозга .....	59
Остеопоротические и патологические компрессионные переломы позвонков .....	63
Истощение костного мозга .....	66
Отек костного мозга (гиперемия и ишемия) .....	69
Другие заболевания костного мозга .....	73
Список литературы .....	79
<b>3. СУХОЖИЛИЯ И МЫШЦЫ</b> .....	81
Визуализация сухожилий .....	81
Сухожилия в норме .....	82
Анатомия .....	82
МРТ сухожилий в норме .....	82
Патологические изменения сухожилий .....	83
Дегенеративные изменения .....	84
Теносиновит .....	84
Разрывы сухожилий .....	86
Подвывихи/дислокации сухожилий .....	88
Другие патологические изменения сухожилий .....	89
Визуализация мышц .....	92
Мышцы в норме .....	92
МР-картина .....	92
Патологические изменения мышц .....	93
Повреждения мышц .....	93
Непрямые повреждения мышц .....	93
Прямые повреждения мышц .....	97
Прочие травматические повреждения .....	103
Воспалительные миопатии .....	106
Пиомиозит .....	106
Некротизирующий фасциит .....	107
Идиопатические воспалительные полимиопатии .....	108
Первичные заболевания мышц .....	108
Дистрофии и миопатии .....	108
Денервация .....	109
Опухоли .....	110
Другие патологические изменения мышц .....	113
Рабдомиолиз .....	113
Инфаркт мышц .....	113
Добавочные мышцы .....	114
Лучевая терапия, хирургические методы лечения и химиотерапия .....	115
Список литературы .....	116
<b>4. ПЕРИФЕРИЧЕСКИЕ НЕРВЫ</b> .....	118
Визуализация нервов .....	118
Норма и патологические изменения .....	118

Общие сведения .....	118
Нормальная анатомия и МРТ-картина .....	119
Патологические изменения нервов.....	120
Травматические повреждения нервов.....	121
Опухоли нервов .....	123
Компрессионная нейропатия и синдромы ущемления.....	128
Патологические изменения нервов .....	129
Список литературы.....	130
<b>5. ИНФЕКЦИИ КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>132</b>
Визуализация инфекции .....	132
Остеомиелит .....	133
Определение терминов.....	133
Пути инфицирования.....	136
Гематогенная диссеминация .....	136
Распространение из прилегающих тканей.....	137
Прямое проникновение.....	138
МРТ-картина при остеомиелите .....	138
Острый остеомиелит.....	139
Подострый остеомиелит.....	142
Хронический остеомиелит.....	142
Инфекция мягких тканей.....	143
Целлюлит.....	143
Септический теносиновит и септический бурсит.....	145
Пиомиозит (инфекционный миозит) .....	145
Некротизирующий фасциит.....	146
Септический артрит.....	147
Прочие патологические состояния.....	149
Инородные тела.....	149
Хронический рецидивирующий многоочаговый остеомиелит.....	150
СПИД .....	150
Синдром диабетической стопы.....	151
Список литературы.....	154
<b>6. АРТРИТ И ХРЯЩ .....</b>	<b>155</b>
Визуализация артрита и хряща .....	155
Ревматоидный артрит.....	156
Анкилозирующий спондилит (или болезнь Бехтерева — хроническое системное заболевание суставов с преимущественной локализацией процесса в крестцово-подвздошных сочленениях, суставах позвоночника и паравертебральных мягких тканях).....	158
Подагра.....	158
Болезнь отложения кристаллов кальция пирофосфата дигидрата.....	160
Гемофилия.....	160
Амилоид.....	161
Опухоли.....	163
Синовиальный хондроматоз.....	163
Пигментный villonodularный синовит.....	165
Суставные мышцы.....	165
Хрящ.....	166
Заключение.....	169
Список литературы.....	169

<b>7. ОПУХОЛИ</b> .....	171
Стадирование опухолей костно-мышечной системы.....	171
Принципы стадирования.....	171
<i>Степень</i> .....	172
<i>Местное распространение</i> .....	172
<i>Метастазы</i> .....	172
Принципы получения изображений.....	172
<i>Опухоли костей</i> .....	172
<i>Опухоли мягких тканей</i> .....	173
<i>Важные параметры магнитно-резонансной томографии</i> .....	173
Оценка опухоли после лечения.....	176
<i>После химиотерапии</i> .....	176
<i>После хирургического лечения и лучевой терапии</i> .....	176
Визуализация опухолей.....	177
Подход к интерпретации изображений.....	180
Общие принципы.....	180
Поражения костей.....	181
<i>Дифференциально-диагностические признаки</i> .....	182
Опухоли мягких тканей.....	188
<i>Общие принципы</i> .....	188
<i>Дифференциально-диагностические признаки</i> .....	188
Список литературы.....	213
<b>8. ТРАВМЫ КОСТЕЙ</b> .....	215
Визуализация травм костей.....	215
Анатомия.....	216
Обзор травм костей.....	216
Методы визуализации.....	216
Острая травма костей.....	217
Травмы при ударе.....	217
<i>Ушиб</i> .....	217
<i>МР-картина при ушибах</i> .....	218
<i>Рентгенологически скрытый перелом</i> .....	219
Отрывные переломы.....	219
<i>Наиболее частые локализации</i> .....	221
<i>МР-картина</i> .....	223
Повторная травма.....	223
Остеопоротические переломы.....	224
<i>МР-картина</i> .....	224
Усталостные/стрессовые переломы.....	227
<i>МР-картина</i> .....	227
<i>Система стадирования по МР-картине</i> .....	230
Хронические отрывные переломы.....	230
<i>Расколота голень (синдром напряжения медиальной поверхности большеберцовой кости)</i> .....	230
<i>Синдром щелкающего бедра</i> .....	231
<i>Посттравматический остеолит</i> .....	231
Травма незрелого скелета.....	231
Эпифизеолиз.....	231
Посттравматические мостики в метаэпифизарной пластинке.....	233
Отрывные переломы.....	233
Дифференциальная диагностика.....	234

Эпифизарный/субхондральный отек костного вещества (блок 8.4).....	234
Усталостные переломы и опухоли.....	234
Рассекающий остеохондрит.....	235
Список литературы.....	237
<b>9. ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОЙ СУСТАВ</b> .....	239
Визуализация височно-нижнечелюстного сустава.....	239
Височно-нижнечелюстной сустав в норме.....	240
Костные структуры.....	240
Диск.....	240
Заболевания височно-нижнечелюстного сустава.....	241
Внутрисуставные патологические изменения.....	241
МРТ при внутрисуставных поражениях и дегенеративных изменениях.....	243
Список литературы.....	243
<b>10. ПЛЕЧЕВОЙ СУСТАВ</b> .....	245
Визуализация плечевого сустава.....	245
Сухожилия и клювовидно-акромиальная дуга.....	247
Нормальная анатомия.....	247
Сухожилия.....	247
Клювовидно-акромиальная дуга.....	250
Импинджмент-синдром плечевого сустава.....	252
Причины.....	253
Акромиальная конфигурация.....	253
Проявления импинджмент-синдрома.....	256
Разрывы, дегенеративные изменения и дислокации сухожилий.....	256
Надостная мышца.....	256
Длинная головка двуглавой мышцы.....	260
Подостная мышца и малая круглая мышца.....	262
Подлопаточная мышца.....	264
Массивные разрывы вращательной манжеты.....	265
Патологические изменения ротаторного интервала.....	265
Нестабильность.....	267
Анатомия при нестабильности.....	269
Капсула.....	269
Плечевые связки.....	269
Суставная губа.....	272
Повреждения, сопровождаемые нестабильностью.....	275
Капсула.....	275
Плечевые связки.....	276
Кости.....	277
Суставная губа.....	279
Повреждения суставной губы, не сопровождаемые нестабильностью.....	281
Повреждения верхних отделов суставной губы с распространением разрыва спереди назад.....	281
Паралабральные кисты.....	284
Сочетанное повреждение суставной губы и хряща гленоида.....	285
Плечевой сустав после оперативного лечения.....	285
Хирургические вмешательства при импинджмент-синдроме и патологии вращательной манжеты плечевого сустава.....	286
Хирургические вмешательства при нестабильности.....	286
Другие патологические изменения суставной капсулы, суставной сумки и сухожилия.....	286
Адгезивный капсулит.....	286

Синовиальные кисты .....	287
Кальцифицирующий тендинит и кальцифицирующий бурсит .....	287
Субкоракондальный бурсит .....	288
Патологические изменения нервов .....	288
Синдром четырехугольного пространства.....	291
Синдром Персонейджа–Тернера.....	292
Патологические изменения костей.....	293
Посттравматический остеолит ключицы.....	293
Скрытые переломы.....	294
Аваскулярный некроз.....	294
Опухоли.....	295
Патологические изменения мягких тканей.....	295
Доброкачественные и злокачественные опухоли.....	295
Травмы грудных мышц.....	297
Список литературы.....	297
<b>11. ЛОКТЕВОЙ СУСТАВ.....</b>	<b>303</b>
Визуализация локтевого сустава .....	303
Норма и патологические изменения.....	304
Кости.....	304
<i>Нормальные отношения</i> .....	304
<i>Костные нарушения</i> .....	305
Связки.....	307
<i>Радиальный коллатеральный связочный комплекс</i> .....	308
<i>Локтевой коллатеральный связочный комплекс</i> .....	311
<i>Синовиальная складка</i> .....	312
Мышцы и сухожилия.....	313
<i>Передний отдел</i> .....	313
<i>Задняя область</i> .....	315
<i>Медиальная область</i> .....	316
<i>Латеральная область</i> .....	317
Нервы.....	319
<i>Локтевой нерв</i> .....	320
<i>Срединный (медианный) нерв</i> .....	321
<i>Лучевой нерв</i> .....	322
Заболевания суставов .....	323
<i>Артропатии/суставные мыши</i> .....	323
<i>Образования (опухоли)</i> .....	325
<i>Эпитрохлеарная (локтевая) аденопатия</i> .....	325
<i>Синовиальные сумки</i> .....	325
Список литературы.....	326
<b>12. ЛУЧЕЗАПЯСТНЫЙ СУСТАВ И КИСТЬ.....</b>	<b>330</b>
Визуализация лучезапястного сустава и кисти.....	330
Норма и патологические изменения.....	332
Связки.....	332
<i>Внутренние связки</i> .....	332
<i>Наружные связки</i> .....	335
Треугольный фиброзно-хрящевой комплекс.....	337
<i>Треугольный фиброзный хрящ</i> .....	337
<i>Лучелоктевые связки</i> .....	339
<i>Гомолог мениска</i> .....	340
<i>Влагалище локтевого разгибателя запястья</i> .....	341
<i>Локтевая коллатеральная связка (лучезапястный сустав)</i> .....	341

Локтевая коллатеральная связка большого пальца .....	342
<i>Локтевая коллатеральная связка большого пальца в норме</i> .....	342
«Большой палец егеря» (также известное как «большой палец лыжника»).....	343
Сухожилия .....	343
<i>Нормальная анатомия</i> .....	343
<i>Патологические изменения сухожилий</i> .....	344
Канал запястья.....	347
Нервы.....	348
<i>Срединный нерв</i> .....	348
<i>Фибролипomatозная гамартома</i> .....	351
<i>Локтевой нерв</i> .....	351
Костные структуры.....	352
<i>Нормальные отношения</i> .....	352
<i>Патологии костей</i> .....	353
Опухоли.....	359
<i>Патологические образования костей</i> .....	359
<i>Патологические образования мягких тканей</i> .....	360
Артрит .....	363
<i>Синовиальные кисты</i> .....	363
Инфекция .....	363
Список литературы.....	364
<b>13. ПОЗВОНОЧНИК</b> .....	368
Визуализация позвоночника .....	368
Норма и патологические изменения.....	369
Дегенеративные изменения .....	369
<i>Старение и дегенерация дисков</i> .....	370
<i>Костные дегенеративные изменения</i> .....	382
Спинальный стеноз.....	385
<i>Стеноз центрального канала</i> .....	386
<i>Стеноз межпозвоночного отверстия</i> .....	388
Послеоперационные изменения .....	390
<i>МРТ при неосложненном течении послеоперационного периода</i> .....	390
<i>Неэффективное хирургическое вмешательство на спине</i> .....	392
Воспалительные изменения .....	393
<i>Спондилодисцит</i> .....	393
<i>Эпидуральный абсцесс</i> .....	395
<i>Арахноидит</i> .....	395
<i>Анкилозирующий спондилит (болезнь Штрюмпелля–Бехтерева–Мари)</i> .....	395
Травматические изменения.....	397
<i>Спондилолиз и спондилолистез</i> .....	397
<i>Внутрикостные грыжи диска</i> .....	399
<i>Значительная (обширная) травма</i> .....	400
Опухоли позвонков.....	406
<i>Доброкачественные опухоли костей</i> .....	406
<i>Злокачественные опухоли костей</i> .....	407
Содержимое спинального канала.....	409
<i>Эпидуральное пространство</i> .....	409
<i>Интрадуральное пространство</i> .....	414
<i>Поражения спинного мозга</i> .....	418
<i>Фиксированный (привязанный) спинной мозг</i> .....	421
Список литературы.....	423



<b>14. ТАЗОБЕДРЕННЫЕ СУСТАВЫ И ТАЗ</b> .....	430
Визуализация тазобедренных суставов и таза .....	430
Норма и патологические изменения .....	432
Костные структуры .....	432
<i>Костные структуры в норме</i> .....	432
<i>Сосудистые патологические изменения костей</i> .....	433
<i>Переломы</i> .....	438
<i>Грыжевые ямки</i> .....	442
<i>Опухоли костей</i> .....	443
Мягкие ткани .....	444
<i>Патологические изменения мышц и сухожилий</i> .....	444
<i>Нервы</i> .....	448
<i>Синовиальная сумка</i> .....	449
<i>Опухоли мягких тканей</i> .....	450
Суставы .....	451
<i>Круглая связка в норме</i> .....	451
<i>Суставная губа</i> .....	452
<i>Суставной хрящ в норме</i> .....	454
<i>Патологически измененный суставной хрящ</i> .....	454
<i>Импинджмент-синдром тазобедренного сустава</i> .....	455
<i>Воспалительные артриты</i> .....	456
<i>Дегенеративное заболевание суставов</i> .....	457
<i>Дисплазия</i> .....	457
<i>Внутрисуставные опухоли (синовиальные процессы)</i> .....	459
Визуализация после артропластики тазобедренного сустава .....	461
Список литературы .....	461
<b>15. КОЛЕННЫЙ СУСТАВ</b> .....	465
Визуализация коленного сустава .....	465
Норма и патологические изменения .....	467
Мениски .....	467
<i>В норме</i> .....	467
<i>Патологические изменения</i> .....	467
<i>Разрывы</i> .....	469
<i>Кисты</i> .....	473
<i>Дискоидный мениск</i> .....	475
<i>Ошибки</i> .....	476
<i>Поперечная связка</i> .....	476
Связки .....	479
<i>Передняя крестообразная связка</i> .....	479
<i>Задняя крестообразная связка</i> .....	483
<i>Медиальная коллатеральная связка</i> .....	484
<i>Комплекс латеральной коллатеральной связки</i> .....	486
Надколенник .....	489
Синовиальные складки .....	489
Сухожилие надколенника .....	491
<i>Импинджмент-синдром жирового тела надколенника</i> .....	491
Синовиальные сумки .....	492
<i>Подколенная киста (киста Бейкера)</i> .....	492
<i>Препателлярная сумка</i> .....	493
<i>Синовиальная сумка «гусиной лапки» (сумка объединенного сухожилия тонкой, портняжной и полусухожильной мышц)</i> .....	493

Синовиальная сумка полуперепончато-большеберцовой коллатеральной связки.....	493
Сумка медиальной коллатеральной связки .....	494
Кости.....	495
Мягкие ткани .....	496
Хрящ.....	497
Список литературы.....	497
<b>16. СТОПА И ГОЛЕНОСТОПНЫЙ СУСТАВ.....</b>	<b>500</b>
Визуализация стопы и голеностопного сустава.....	500
Норма и патологические изменения.....	502
Сухожилия .....	502
Задняя группа сухожилий голеностопного сустава .....	502
Ахиллово сухожилие и сухожилие подошвенной мышцы).....	502
Медиальные сухожилия голеностопного сустава .....	506
Сухожилие задней большеберцовой мышцы .....	506
Длинный сгибатель пальцев .....	510
Длинный сгибатель большого пальца стопы.....	510
Латеральные сухожилия голеностопного сустава.....	511
Сухожилия малоберцовых мышц.....	511
Передние сухожилия голеностопного сустава.....	515
Сухожилие передней большеберцовой мышцы.....	515
Связки голеностопного сустава .....	516
Медиальные связки голеностопного сустава.....	516
Латеральные связки голеностопного сустава .....	518
Другие воспалительные заболевания.....	522
Переднелатеральный импинджмент-синдром голеностопного сустава.....	522
Синдром тарзального синуса .....	523
Плантарный фасциит.....	525
Патологические изменения нервов.....	527
Синдром предплюсневого канала .....	527
Неврома Мортона .....	529
Патологические изменения костей .....	531
Тарзальная коалиция .....	531
Добавочные и сесамовидные кости.....	532
Переломы.....	535
Остеонекроз стопы и голеностопного сустава.....	535
Опухоли костей.....	537
Синдром отека костного мозга .....	539
Опухоли мягких тканей .....	540
Доброкачественные опухоли .....	540
Злокачественные опухоли .....	540
Образования, имитирующие опухоли мягких тканей .....	542
Диабетическая стопа.....	543
Инородные тела.....	547
Список литературы.....	548
Предметный указатель.....	556

# 1

# Основные принципы МРТ костно-мышечной системы

## СОДЕРЖАНИЕ

Как получить изображения высокого качества?.....	18
Двигательные артефакты.....	18
Сигнал и разрешение.....	19
Контрастность тканей (тканевое разрешение) ...	22
Импульсные последовательности.....	22
Подавление сигнала от жировой ткани.....	29
Гадолиний.....	32
МР-артрография.....	34
Костная и мышечная ткань.....	34
Кости.....	35
Нормальная МРТ-картина.....	35
Наиболее эффективные последовательности.....	35
«Ловушки».....	36
Суставной хрящ.....	36
Нормальная МРТ-картина.....	36
Наиболее эффективные последовательности.....	36
Фиброзный хрящ.....	36
Нормальная МРТ-картина.....	36
Часто используемые последовательности:	
мениск.....	37
«Ловушки».....	37
Часто используемые последовательности:	
суставная губа плечевого сустава	
или вертлужной впадины.....	37
Сухожилия и связки.....	38
Нормальная МРТ-картина.....	38
Наиболее эффективные последовательности.....	38
«Ловушки».....	38
Мышцы.....	39
Нормальная МРТ-картина.....	39
Эффективные последовательности.....	39
Синовиальная оболочка.....	40
Нормальная МРТ-картина.....	40
Эффективные последовательности.....	40
«Ловушки».....	40
Области применения.....	40
Список литературы.....	41

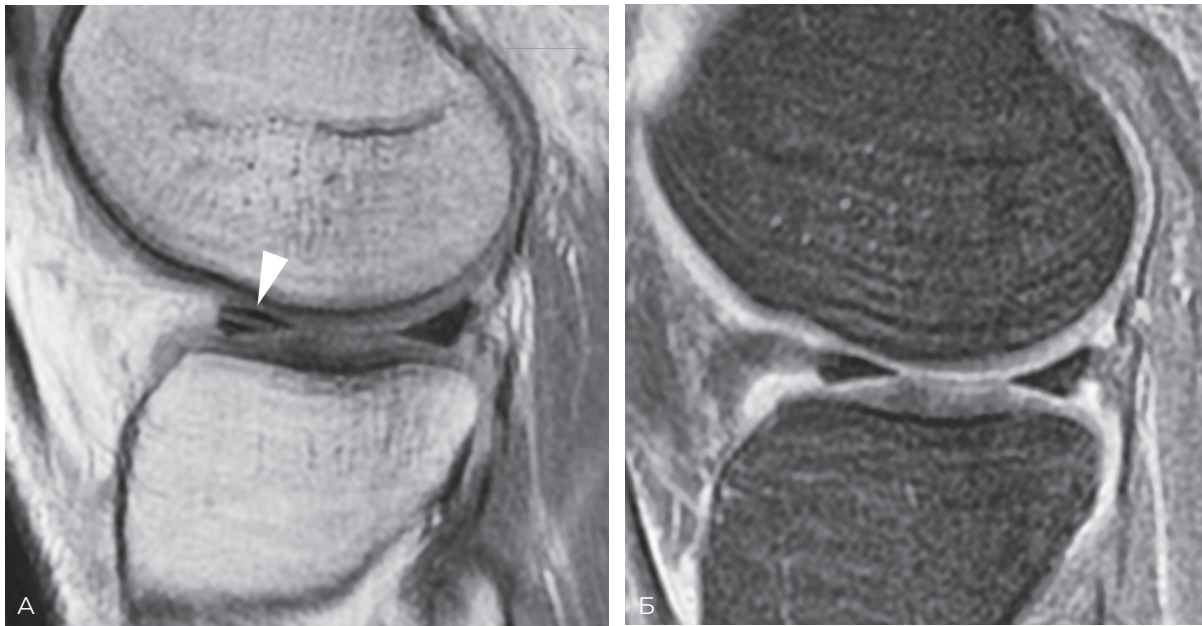
Для того чтобы интерпретировать результаты МРТ, не нужно хорошо разбираться в ядерной физике. Однако неприятно оценивать изображения, не имея представления о том, как они были получены или как можно повысить их качество. Рентгенологам необходимо четко понимать основные принципы получения изображений превосходного качества. В этой главе описываются различные возможности, позволяющие получить изображения высокого качества, подчеркиваются фундаментальные принципы, характерные для всех магнитно-резонансных (МР) томографов.

У каждого аппарата есть отличия. Напряженность магнитного поля томографов, которые используются в настоящее время в клинической практике, варьирует от 0,2 до 3,0 Тл. Кроме того, каждый производитель описывает свое оборудование, программное обеспечение и параметры сканирования собственными терминами, расшифровке которых можно посвятить целую главу. Время на подробное изучение характеристик вашего томографа с техниками или физиками не будет потрачено зря. Если вам интересно, прочитайте обсуждение физики МРТ в статьях или других руководствах, поскольку в этой книге мы по большей части оставим физику физикам.

## Как получить изображения высокого качества?

### Двигательные артефакты

Артефакты движения — одни из главных врагов МРТ (рис. 1.1). Они могут быть разного происхождения — сердцебиение, перистальтика кишечника и дыхательные движения. При исследовании костно-мышечной системы двигательные артефакты возникают, как правило, при движениях тела,



**Рис. 1.1.** Влияние движений. А — взвешенное по протонной плотности изображение коленного сустава в сагиттальной проекции. Имеется артефакт движения, вызывающий линейное повышение интенсивности сигнала подозрительное на разрыв переднего рога латерального мениска (показано стрелкой). Б — качество изображения, взвешенного по протонной плотности, с подавлением сигнала от жировой ткани также снижено за счет двигательных артефактов. Однако данное изображение подтверждает, что мениск не изменен, а патологический сигнал от мениска обусловлен двигательным артефактом

связанных с дискомфортом. Комфорт пациента имеет первостепенное значение, поскольку любое движение, даже при оптимизации всех остальных параметров, может испортить все изображение.

Комфорт пациента начинается с укладки. Нужно приложить все усилия, чтобы пациенту было удобно — если пациент лежит на спине, подложите подушку под колени, уменьшив таким образом нагрузку на позвоночник, или мягкие прокладки в точках давления. Если пациенту удобно, то для максимальной иммобилизации можно использовать пассивные ограничители — ленты, пенорезину или мешки с песком. Прослушивание музыки через наушники может уменьшить тревожность. Пациентам, страдающим клаустрофобией, может потребоваться кратковременная седация.

Еще одна причина движений — большая продолжительность исследования. Это один из доводов в пользу оптимизированных протоколов визуализации. Разработка эффективных последовательностей изображений позволяет получить необходимые изображения с минимальными временными затратами. В результате повышаются комплаентность пациентов и эффективность работы операторов, достигаются максимальные показатели пропускной способности томографа. Кроме того, стандартизованные протоколы снижают потребность в присутствии врача во время процедуры сканирования и позволяют повысить

качество интерпретации изображений, поскольку врач-рентгенолог анализирует анатомические области в одних и тех же проекциях, каждый раз используя аналогичные последовательности.

## Сигнал и разрешение

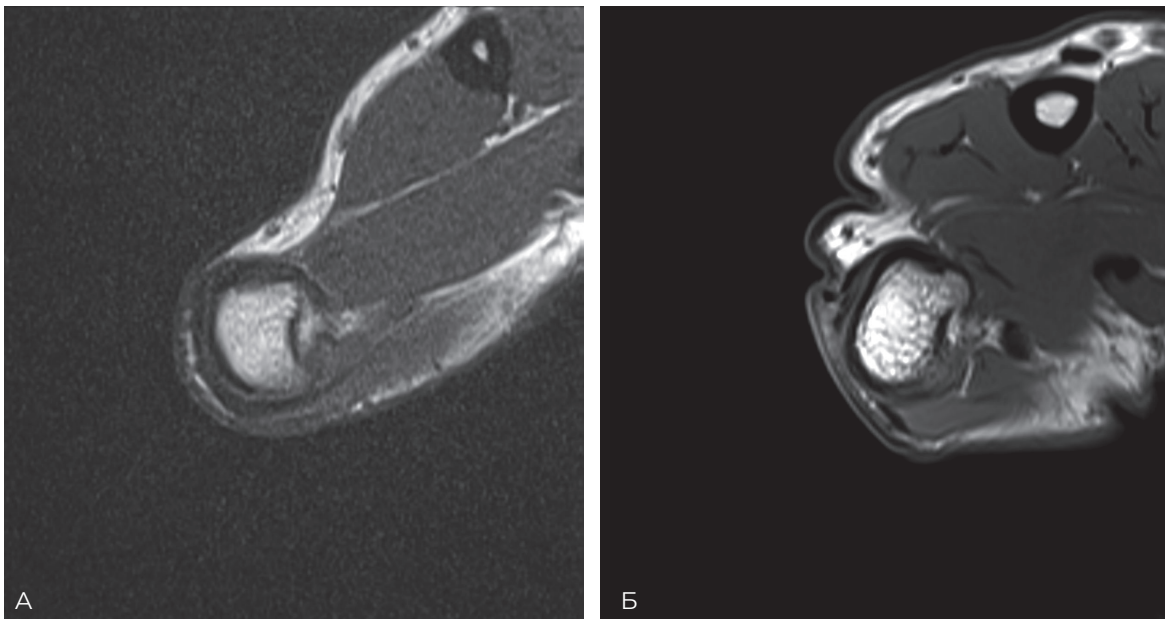
Сигнал — это количество информации на изображении. Другие факторы также имеют значение, но если у изображения низкое качество сигнала (т.е. изображение «шумное»), то даже лучший рентгенолог не сможет его интерпретировать (рис. 1.2).

Каждое изображение состоит из вокселей (объемных элементов), соответствующих небольшому участку тканей пациента. Величина одного измерения вокселя определяется толщиной среза. Показатели других измерений зависят от поля сканирования и размера матрицы (т.е. от количества квадратов в сетке изображения) (рис. 1.3). Поскольку интенсивность сигнала пропорциональна количеству протонов, входящих в резонанс в каждом вокселе, все, что увеличивает размер вокселя, будет увеличивать интенсивность сигнала (рис. 1.4). При увеличении толщины срезов или поля сканирования либо, наоборот, уменьшении размера матрицы (объем изображения распространяется на меньшее количество ячеек, но ячейки более крупные), интенсивность сигнала повышается.

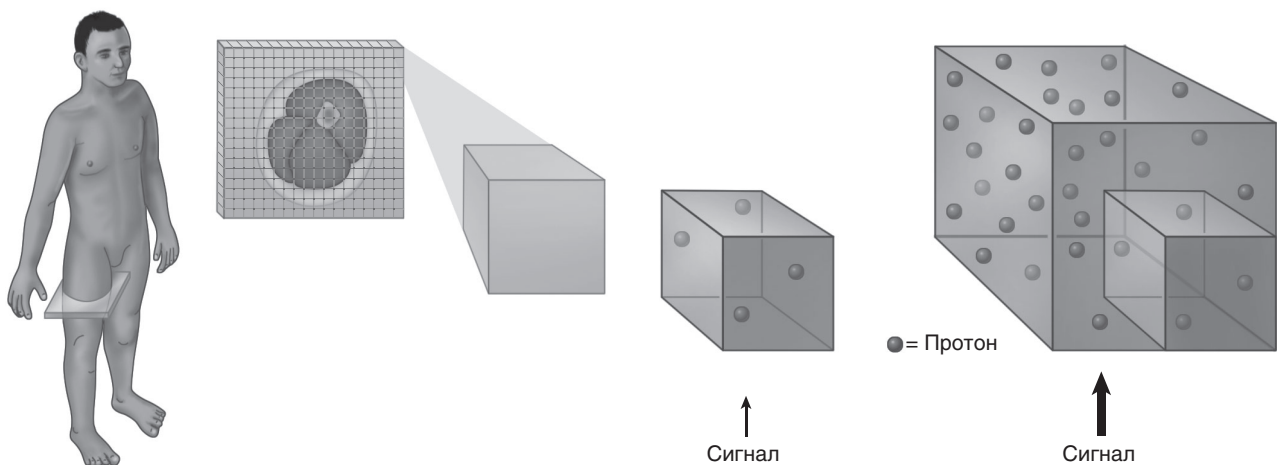
На сигнал влияет еще один фактор — количество захватов сигнала (известное также как количество усреднений сигнала, или число возбуждений). Если количество усреднений сигнала равно двум, то это означает, что сигнал от протонов, возникающий в каждом вокселе, собирается дважды. В результате время получения изображения удваивается. Это приводит к увеличению соотношения сигнал/шум пропорционально квадратному корню

из двух. Следовательно, для такого метода улучшения качества сигнала, как усреднение сигнала, не характерна существенная экономия времени.

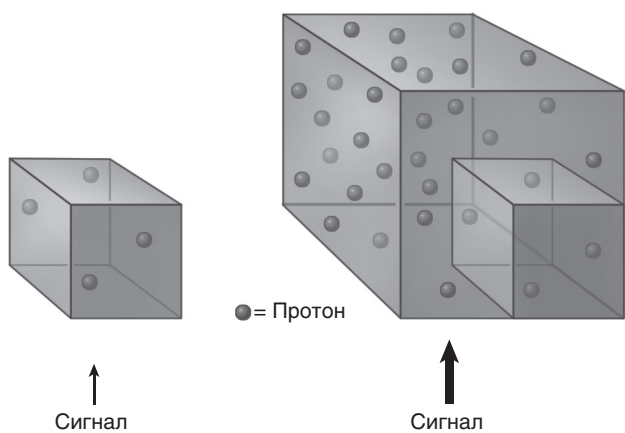
Наконец, слишком тесное расположение срезов может отрицательно сказаться на сигнале, что объясняется феноменом перекрестной наводки. При близком расположении срезов помехи от одного среза могут распространяться на соседний срез, что приводит к увеличению шума. Это осо-



**Рис. 1.2.** Шум и влияние поверхностной катушки. А — Т1-ВИ большого пальца кисти в аксиальной проекции, полученное при помощи катушки с фазовой решеткой. Качество изображения очень низкое, и это связано прежде всего с выраженным шумом. Б — контрольное Т1-взвешенное изображение (ВИ) на том же уровне в аксиальной плоскости, полученное при помощи специализированной катушки для запястья. Качество изображения намного выше за счет улучшения соотношения сигнал/шум



**Рис. 1.3.** Воксель. Схематическая диаграмма, иллюстрирующая матрицу изображения и отдельный воксель на МРТ-скане проксимального отдела бедра в аксиальной проекции



**Рис. 1.4.** Размер вокселя и сигнал. Интенсивность сигнала прямо пропорциональна числу протонов в вокселе. Обратите внимание, что в более крупном вокселе больше протонов, в результате интенсивность сигнала выше



бенно характерно для T2-взвешенных последовательностей. Данный эффект можно уменьшить, установив промежуток между срезами (небольшую часть ткани, которую не визуализируют). В результате шум уменьшается, а интенсивность сигнала возрастает. Как правило, промежутки между срезами занимают от 10 до 25% толщины среза. Чем больше промежуток, тем больше не визуализируемых тканей и выше вероятность пропустить небольшое патологическое образование.

У каждого производителя МР-томографов есть последовательности, позволяющие избавиться от артефактов, связанных с движением, пульсирующим кровотоком и перекрестной наводкой. Эти последовательности особенно полезны в случае тревожности пациента или возникновении у него непроизвольных движений, которые могут мешать получению желаемых изображений.

Теперь, когда мы рассмотрели несколько способов улучшения качества сигнала (другими словами, повышения соотношения сигнал/шум), нужно обратить внимание на второй значимый фактор, позволяющий получить изображение высокого качества, — разрешение. Разрешение — способность различать объекты небольшого размера. При исследовании костно-мышечной системы этот фактор в большинстве случаев имеет критически важное значение, поскольку объектом исследования нередко являются относительно небольшие структуры.

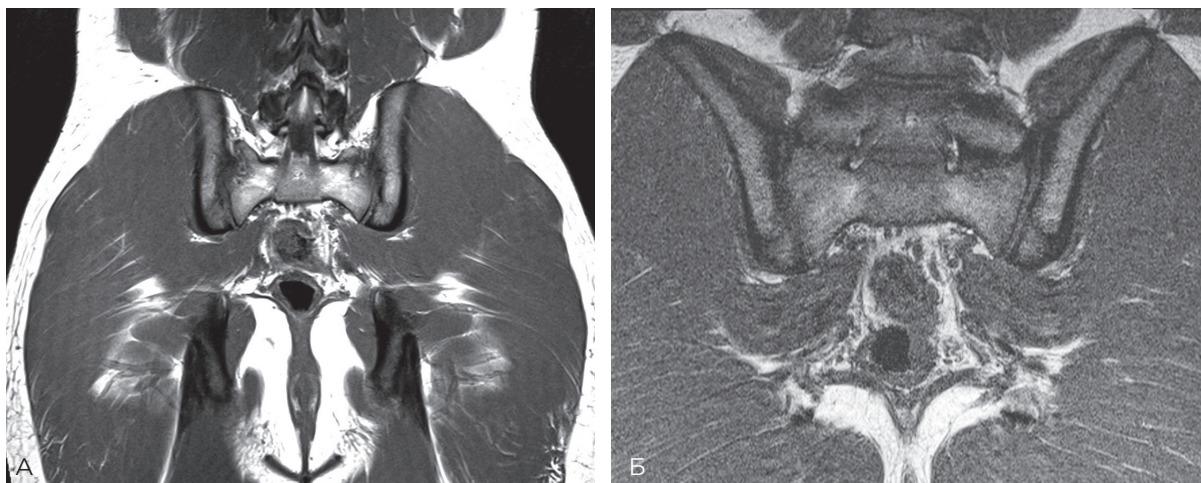
При выполнении МРТ любые изменения, нацеленные на улучшение разрешения, отрицательно сказываются на сигнале. При уменьшении размера вокселя (путем уменьшения толщины среза,

поля сканирования или увеличения матрицы изображения) не только увеличивается разрешение, но и уменьшается число протонов в каждом вокселе и снижается интенсивность сигнала (**табл. 1.1**). Следовательно, при составлении протоколов визуализации всегда приходится искать компромисс между максимальным качеством сигнала (1) и оптимальным разрешением (2) (**рис. 1.5**). Еще одним фактором, помогающим достичь компромисса с минимальными потерями, является выбор катушки.

Таблица 1.1		Сигнал и разрешение: необходимые компромиссы	
↑ сигнал/↓ разрешение	↑ разрешение/↓ сигнал	↑ разрешение/↓ сигнал	↑ разрешение/↓ сигнал
↑ толщина среза	↓ толщина среза	↓ толщина среза	↓ толщина среза
↑ поле сканирования	↓ поле сканирования	↓ поле сканирования	↓ поле сканирования
↓ матрица изображения	↑ матрица изображения	↑ матрица изображения	↑ матрица изображения

Изображение при МРТ получается с помощью сигнала, который возвращается от резонирующих протонов в тканях. Как известно, чем ближе вы к лектору, тем лучше вам слышен его голос. Аналогичным образом обстоят дела и с приемной катушкой — чем ближе к тканям, представляющим интерес, она располагается, тем лучше сигнал и меньше уровень шума.

При МРТ необходимо приложить все усилия к тому, чтобы использовать катушку как можно меньшего размера, поскольку это позволит получить сигнал максимально высокого качества.



**Рис. 1.5.** Влияние поля сканирования на шум и разрешение. А — Т1-ВИ таза в коронарной проекции с большим полем сканирования. Обратите внимание на хорошие показатели соотношения сигнал/шум. Б — Т1-ВИ в косой проекции, полученное при использовании той же катушки, но с полем сканирования меньшего размера. На этом изображении разрешение действительно выше, чем на рис. А, однако в целом его качество невысоко по причине высокого уровня шума

Катушки, которые можно установить на исследуемую часть тела или максимально близко к ней, называют поверхностными. При использовании таких катушек качество сигнала значительно выше, чем при использовании катушек для тела. При выборе катушки необходимо учитывать ее размер. Размер стандартных катушек должен позволять получить сигнал по всей длине и глубине тканей, представляющих интерес. У плоской поверхностной катушки глубина проникновения примерно равна половине диаметра или ширины катушки. За пределами этого расстояния интенсивность сигнала уменьшается, что проявляется снижением его интенсивности на соответствующем участке изображения. Для того чтобы избежать этой проблемы при исследовании конечностей, часто используются так называемые объемные катушки. Они окружают руку или ногу, что обеспечивает однородность сигнала на протяжении всех тканей в интересующей области. Кроме того, в настоящее время в состав большинства катушек входит фазовая решетка. Катушка с фазовой решеткой состоит из нескольких катушек меньшего размера, составленных в ряд. Такая конструкция позволяет получить максимальный сигнал от каждой маленькой катушки и от каждого сегмента ткани, охватываемого катушками. Поверхностная катушка, как правило, позволяет получить хороший сигнал и использовать параметры изображения с более высоким разрешением. Для получения изображения с высокой интенсивностью сигнала и высоким разрешением принципиально важен выбор подходящей катушки.

### Контрастность тканей (тканевое разрешение)

И КТ и МРТ позволяют получить срезы с высоким разрешением, однако отличительной способностью МРТ является лучшая контрастность мяг-

ких тканей (способность различать типы тканей на основании интенсивности сигнала от них). При КТ принцип получения изображений заключается в свойстве тканей ослаблять рентгеновские лучи, а при МРТ контрастность мягких тканей связана с различиями в уровне резонанса от протонов в тканях. Протоны в жировой ткани резонируют не так, как протоны в жидкости. Изменяя параметры визуализации, оператор МРТ может подчеркнуть различие этих свойств в разных тканях. Это называют взвешиванием изображения. Ткани можно различить на основании интенсивности сигнала, исходящего от них, при использовании различных последовательностей.

При МРТ интенсивность сигнала от ткани описывают с помощью относительных терминов (например, гиперинтенсивный относительно мышечной ткани). Это связано с тем, что значениям изображения на серой шкале не присваивают определенные числа, как при КТ, — их сравнивают с самым ярким вокселем на изображении.

### Импульсные последовательности (таб. 1.2 и 1.3)

Совокупность специфических параметров изображения, выбранных для одного среза, называют импульсной последовательностью. Исследование костно-мышечной системы включает, как правило, от трех до шести последовательностей в различных анатомических проекциях. Существуют различные виды последовательностей. У каждой есть свои сильные и слабые стороны. На данном этапе мы не хотели бы увязнуть в технических деталях. Далее типичные параметры изображения для каждой импульсной последовательности приведены в скобках. Эти сведения суммированы в табл. 1.3, а в конце главы приведен глоссарий, который поможет разобраться в незнакомых терминах.

Таблица 1.2

Сильные и слабые стороны импульсных последовательностей

Последовательность	Сильные стороны	Слабые стороны
<b>Быстрое спиновое эхо</b>		
T1	Анатомические детали. Жир, подострые кровоизлияния. Накопление в тканях контрастного препарата Gd-DTPA (в режиме подавления сигнала от жировой ткани). Патологические изменения костного мозга	Низкая чувствительность в отношении отека мягких тканей и другой патологии, которая хорошо обнаруживается в режиме T2. В отношении патологии костного мозга данная последовательность менее чувствительна, чем STIR или FSE-T2 в режиме подавления сигнала от жировой ткани
Протонная плотность	Анатомические детали. Патологические изменения менисков	Низкая чувствительность в отношении выявления жидкости и патологии костного мозга, если не использовать режим подавления сигнала от жировой ткани