

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

Магнитно-резонансная томография кисти: оптимизация сканирования

Ю.А. Васильев, Д.С. Семенов, А.В. Петряйкин, А.А. Учеваткин,
Л.Р. Абуладзе, А.В. Бажин, Д.Е. Шарова

Научно-практический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Магнитно-резонансная томография — один из ведущих методов лучевой диагностики патологических изменений опорно-двигательного аппарата, в том числе лучезапястного сустава и кисти. Основными проблемами, с которыми встречаются рентгенолаборанты и врачи-рентгенологи при выполнении магнитно-резонансной томографии кисти, являются отсутствие специализированной катушки и надёжного фиксирующего устройства для кисти, а также неудобная поза пациента, что в итоге приводит к чрезмерной двигательной активности пациента во время исследования и снижению качества получаемых изображений. В дополнение к этому, лучезапястный сустав и кисть состоят из множества небольших анатомических структур, детальная визуализация которых требует удлинения времени сканирования, что в свою очередь является дополнительным фактором риска получения некачественных изображений из-за двигательной активности пациента, повышая вероятность некорректной интерпретации исследования врачом-рентгенологом.

Цель — улучшить качество изображений, полученных в ходе магнитно-резонансной томографии кисти, путём разработки стандартизованного подхода к выполнению исследования: выбор катушки, укладка пациента, осуществление фиксации кисти, а также выбор протокола сканирования и параметров импульсных последовательностей.

Материалы и методы. Разработана лонгета для предупреждения движений кисти и выполнены исследования с применением двух видов радиочастотных катушек. Проведена сравнительная оценка изображений по техническим параметрам, а также оценка врачом-рентгенологом, специализирующимся на скелетно-мышечной визуализации, на предмет качества изображений в зависимости от цели исследования.

Результаты. Применение катушки для исследования головы (головной катушки) более целесообразно при необходимости сканирования всей кисти (например, при ревматологических заболеваниях), применение коленной катушки — при необходимости более детальной оценки анатомических структур (в том числе запястья), ввиду меньшего поля обзора и более высокого разрешения. На основании полученных данных были сформулированы рекомендации по проведению магнитно-резонансной томографии кисти: выбор радиочастотной катушки, протокола сканирования, параметров импульсных последовательностей. Кроме того, нами предложена лонгета для фиксации кисти пациента с целью нивелирования избыточных движений и предотвращения возникновения артефактов.

Заключение. Для качественного выполнения магнитно-резонансной томографии кисти требуется учитывать ряд факторов: правила безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии, настройка параметров сканирования, грамотная фиксация кисти в катушке. Соблюдение рекомендаций, которые предлагаются в данной работе, а также применение разработанной лонгеты позволяют улучшить качество полученных изображений при магнитно-резонансной томографии кисти.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; кисть; лучезапястный сустав; оптимизация.

Как цитировать:

Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Петряйкин А.В., Учеваткин А.А., Абуладзе Л.Р., Бажин А.В., Шарова Д.Е. Магнитно-резонансная томография кисти: оптимизация сканирования // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 269–282. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

Optimization of magnetic resonance imaging of the hand

Yuriy A. Vasilev, Dmitry S. Semenov, Alexey V. Petraikin, Andrey A. Uchevatkin, Liya R. Abuladze, Alexander V. Bazhin, Dariya E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Magnetic resonance imaging is one of the leading imaging modalities of the musculoskeletal system. However, when imaging the hand, major problems in magnetic resonance imaging include the lack of specialized coils and reliable fixation devices for the hand, uncomfortable patient posture, motion artifacts, and small anatomical structures in the wrist. These factors inevitably lead to incorrect interpretation.

AIM: To improve the quality of magnetic resonance imaging of the hand by developing an approach to coil selection, scanning protocol, and hand positioning and fixation.

MATERIALS AND METHODS: A positioning device was developed to prevent hand movements. Two types of coils were evaluated. Magnetic resonance images were evaluated comparatively, as well as by a musculoskeletal radiologist.

RESULTS: A head coil is more appropriate when scanning the entire hand, for example, in rheumatic diseases. A knee coil is more appropriate when studying smaller anatomical structures (including the wrist) owing to a smaller field of view and higher resolution. Based on the obtained data, guidelines for the selection of scanning parameters, sequences, and coils for magnetic resonance imaging of the hand were formulated. To prevent motion artifacts, a special fixation device of the patient's hand was introduced.

CONCLUSION: Certain factors directly affect the qualitative magnetic resonance imaging study of the hand, such as safety protocols, scanning parameters, and hand fixation. The guidelines presented in this study and the use of the developed specialized fixation device may improve the quality of magnetic resonance imaging of the hand.

Keywords: magnetic resonance imaging; hand; wrist; optimization.

To cite this article:

Vasilev YuA, Semenov DS, Petraikin AV, Uchevatkin AA, Abuladze LR, Bazhin AV, Sharova DE. Optimization of magnetic resonance imaging of the hand. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):269–282. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

手部磁共振成像：扫描优化

Yuriy A. Vasilev, Dmitry S. Semenov, Alexey V. Petraikin, Andrey A. Uchevatkin,
Liya R. Abuladze, Alexander V. Bazhin, Dariya E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

摘要

论证。磁共振成像是包括腕关节和手部在内的肌肉骨骼系统病变进行放射诊断的主要方法之一。放射技师和放射科医生在进行手部磁共振成像时遇到的主要问题是缺乏专用线圈和可靠的手部固定装置，以及病人的姿势不舒适。这最终会导致患者在检查过程中过度移动，并降低所获图像的质量。此外，腕关节和手部由许多细小的解剖结构组成，对这些结构的详细观察需要更长的扫描时间。反过来，由于患者的运动活动，这也是造成图像质量差的一个额外风险因素。这就增加了放射科医生对检查做出错误解释的可能性。

目的是通过制定标准化的检查方法，提高手部磁共振成像的图像质量：线圈选择、患者定位、手部固定以及扫描方案和脉冲序列参数的选择。

材料和方法。开发了一种防止手部运动的绷带，并使用两种射频线圈进行了检查。一名专门从事肌肉骨骼成像的放射科医生对图像的技术参数进行了比较评估，并根据研究目的对图像质量进行了评估。

结果。当需要扫描整个手部（如风湿病）时，头部线圈更为合适。膝部线圈的视野较小，分辨率较高，可用于对解剖结构（包括腕部）进行更详细的评估。根据获得的数据，我们制定了手部磁共振成像的建议：选择射频线圈、扫描方案和脉冲序列参数。此外，我们还提出了固定患者手部的绷带，以平缓过度运动和防止伪影。

结论。要保证手部磁共振成像的质量，需要考虑以下几个因素：磁共振成像过程中的安全规则、扫描参数的调整以及手部在线圈中的正确固定。遵守本文提出的建议以及使用开发的绷带可以提高手部磁共振成像的质量。

关键词：磁共振成像；手部；腕关节；优化。

引用本文：

Vasilev YuA, Semenov DS, Petraikin AV, Uchevatkin AA, Abuladze LR, Bazhin AV, Sharova DE. 手部磁共振成像：扫描优化. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):269–282. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

收到：31.10.2023

接受：16.11.2023

发布日期：19.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) — один из основных методов диагностики патологических изменений структур опорно-двигательного аппарата человека. Отсутствие ионизирующего излучения и высокая мягкотканная контрастность позволяют методу занимать одну из лидирующих позиций. МРТ демонстрирует высокие показатели диагностической точности в оценке поражений хрящей, связок, объёмных образований и костного мозга [1]. Однако для детальной оценки множества мелких структур, образующих кисть, и получения МР-изображений высокого качества, необходимо соблюдать ряд условий: соблюдение рентгенолаборантом правил общей безопасности при проведении МРТ [2], использование корректных импульсных последовательностей, применение определённых радиочастотных (РЧ) катушек и дополнительных элементов, позволяющих фиксировать руку в правильном положении. Среди недостатков МРТ можно выделить меньшую доступность метода [3] и его более высокую стоимость [4].

Для врача-рентгенолога сложность интерпретации МРТ кисти заключается в том, что кисть образована мелкими структурами, визуализация и интерпретация патологических изменений которых напрямую зависит не только от квалификации врача, но и от качества проведённого исследования [5]. Например, было показано, что врачи-рентгенологи, специализирующиеся на диагностике патологий скелетно-мышечной системы, представляют более детальные описания, нежели менее опытные коллеги [1]. Говоря о пациентах, стоит отметить, что одними из ведущих факторов для получения качественных изображений являются правильная укладка и фиксация кисти пациента, а также минимизация двигательной активности на протяжении всего исследования. Известно, что движение — одна из самых распространённых причин появления артефактов на МР-изображениях. Артефакты проявляются в виде размытия контуров структур и, как следствие, снижают информативность исследования [6]. При этом существует два вида движений, которые могут вызывать артефакты: внутренние, обусловленные физиологическими процессами (потоком крови в сосудах), и внешние, которые напрямую связаны с активными или пассивными движениями пациента во время исследования. Артефакты потока представляются менее значимыми ввиду небольшого калибра сосудов и могут быть нивелированы с помощью специальных насыщающих импульсов, наложенных дистальнее и проксимальнее зоны сканирования, а также смены направления градиента, кодирующего фазу. Движения самого пациента можно минимизировать, подобрав удобную позицию для кисти и обеспечив её надёжную фиксацию [6].

ЦЕЛЬ

Целью данной работы было улучшение качества МР-изображений при исследовании кисти путём разработки

стандартизованного подхода, включающего выбор катушки, укладку пациента, фиксацию кисти, протокол сканирования и параметры импульсных последовательностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На текущий момент существует целый ряд проблем при выполнении МРТ кисти, в том числе в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы: отсутствие специализированной катушки, неудобная поза пациента, двигательные артефакты, мелкие анатомические структуры, детальная визуализация которых требует удлинения времени сканирования. Кроме того, существенной проблемой является отсутствие надёжного фиксирующего устройства для кисти в катушке. В связи с этим нами была разработана лонгета для подавления движения и выполнены исследования с применением разных РЧ-катушек (головной и коленной) для сравнения качества и разработки рекомендаций по выполнению МРТ на основании полученных данных в зависимости от цели исследования.

Исследование проводилось на здоровом добровольце с использованием МР-томографа Excelart Vantage 1.5T (Toshiba, Япония), одной из самых распространённых моделей в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы на момент выполнения работы.

Была разработана лонгета для фиксации кисти с четырьмя фиксирующими текстильными застёжками на эластичных лентах (рис. 1). Используемый материал — полиметилметакрилат (органическое стекло). Размеры лонгеты: 30×12 см, толщина 0,5 см. Кроме того, дополнительно прилагаются подушечка для дистальной части предплечья (рис. 2, *b*) и одноразовые нарукавники (перчатки, конверты).

Лонгету располагали так, чтобы кисть плотно прилежала к её корпусу, а область запястья лежала на специальной подушечке для придания удобного положения. Затем лонгета фиксировалась четырьмя текстильными застёжками



Рис. 1. Устройство (лонгета) для укладки кисти пациента.

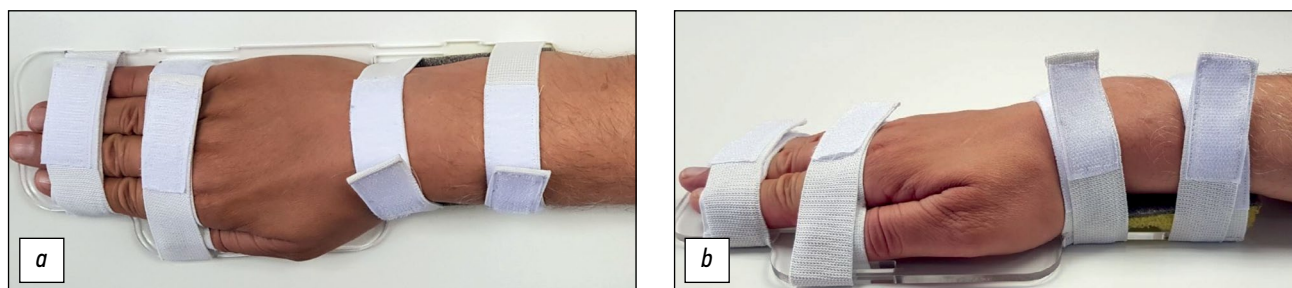


Рис. 2. Пример крепления лонгеты для фиксирования кисти пациента: *a* — вид сверху; *b* — вид сбоку.

на эластичных лентах (рис. 2). Укладка пациента: в положении лёжа на животе с вытянутой вперёд рукой (поза «супермена») с фиксацией лонгеты к кисти (рис. 3).

Соотношение сигнал/шум (SNR) — один из основных показателей качества визуализации в МРТ: чем выше это соотношение, тем лучше визуализируются анатомические структуры. В связи с этим в первую очередь была проведена оценка изображений по SNR в зависимости от региона сканирования. Расчёт SNR для головной и коленной катушек осуществлялся двумя способами.

Первый способ: отношение сигнала от мышц, возвышения большого пальца (тенара) и среднеквадратического отклонения (СКО) фона, формула (1):

$$SNR = \frac{\text{Сигнал от тенара}}{\text{СКО фона}} \quad (1)$$

Второй способ: отношение сигнала от тенара и сигнала от фона, формула (2):

$$SNR = \frac{\text{Сигнал от тенара}}{\text{Сигнал от фона}} \quad (2)$$

Сигнал определялся для тенара, поскольку сигнал от мышц не подавляется технологиями STIR (Short Tau

Inversion Recovery, инверсия-восстановление) и FS (Fat Suppression, жироподавление), что позволило усреднить полученные для разных режимов сканирования данные. Соответственно были рассчитаны показатели SNR для трёх основных импульсных последовательностей: T1-взвешенных изображений (ВИ), STIR, PD-VI FS (взвешенные изображения протонной плотности с подавлением жира). Дополнительно оценивалось наличие артефактов от сосудов, возможность вертикального и горизонтального расположения, необходимость настройки программ сканирования и удобство для пациента. Изображения оценивались врачом-рентгенологом с опытом работы 10 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 продемонстрированы данные сравнения SNR для головной и коленной катушек. Как видно из таблицы, SNR при применении коленной катушки выше для обоих методов определения данного показателя, что более наглядно представлено как среднее отношение SNR, которое больше в 1,39 раза при измерении по формуле (1) и в 5,3 раза — по формуле (2) (см. формулы выше).

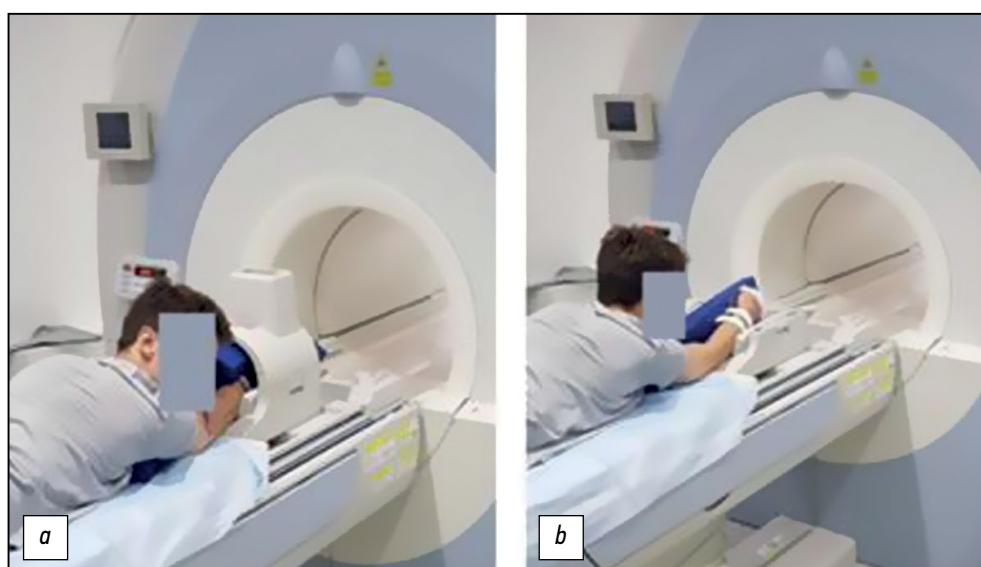


Рис. 3. Укладка пациента в положении лёжа на животе с вытянутой вперёд рукой (поза «супермена») с расположением кисти на лонгете для её фиксации: *a* — расположение устройства в радиочастотной катушке в сборе; *b* — расположение устройства в объёмной радиочастотной катушке с открытой верхней частью.

Таблица 1. Сравнение соотношения сигнал/шум для головной и коленной катушек

	Вычисление SNR по формуле (1)			Вычисление SNR по формуле (2)		
	T1-ВИ	STIR	PD FS	T1-ВИ	STIR	PD FS
Головная катушка	6,62	11,51	30,81	1,67	1,65	4,08
Коленная катушка	10,13	15,54	39,97	11,29	7,16	20,39
Отношение SNR	1,53	1,35	1,30	6,76	4,34	5,00
Среднее		1,39			5,3	

Примечание. ВИ — взвешенные изображения; PD FS — протонная плотность с подавлением жира; SNR — соотношение сигнал/шум; STIR — инверсия-восстановление. Отношение SNR определено по формуле: «SNR коленной катушки» / «SNR головной катушки».

В табл. 2 представлены обобщённые данные по сравнению головной и коленной катушек. На рис. 4 и 5 представлены изображения, полученные с применением головной и коленной РЧ-катушек. При использовании головной катушки (см. рис. 4) SNR ниже, однако распределение интенсивности сигнала более равномерное, что позволяет оценивать всю кисть. С другой стороны, при использовании коленной катушки (см. рис. 5) SNR локально более высокое, что позволяет оценивать более мелкие структуры, что важно при прицельном исследовании структур запястья. Это связано с тем, что коленная РЧ-катушка — квадратурная, а не многоканальная, а также с тем, что её рабочее поле обзора меньше. Результаты опроса показали, что для пациента головная катушка представляется более удобной.

Таким образом, применение головной катушки более целесообразно при необходимости исследовать всю кисть, например, при ревматологических заболеваниях, в то время как применение коленной — при необходимости более детальной оценки мелких структур запястья, например, при повреждении гиалинового хряща, стрессовых и патологических переломах, повреждениях триангулярного фиброзно-хрящевого комплекса (ТФХК) или туннельных синдромах.

Полученные данные позволили нам сформулировать следующие рекомендации для практикующих врачей и рентгенолаборантов:

1. Исключить наличие металлических предметов, способных привести к артефактам и травматизации пациента.
2. Выбрать РЧ-катушку в зависимости от клинической задачи: если необходимо детально проанализировать локальные анатомические структуры (запястье, ТФХК и др.), то рекомендуется использовать объёмную коленную РЧ-катушку; если необходимо провести обзорное исследование всей кисти — головную РЧ-катушку.
3. Кисть пациента фиксировать таким образом, чтобы она плотно прилегала к корпусу лонгеты, область запястья расположить на специальной подушечке для удобного размещения руки, зафиксировать четырьмя текстильными застёжками на эластичных лентах (рис. 2, а, b).
4. Осуществить укладку пациента в положении лёжа на животе с вытянутой вперёд рукой (поза «супермена»), как показано на рис. 3. Не всегда возможно уложить руку пациента вдоль центральной оси туннеля томографа с кистью чётко в изоцентре, поэтому зачастую кисть поворачивают и/или смещают к краю

Таблица 2. Сравнение параметров магнитно-резонансной томографии кисти в катушках для исследования головы и коленного сустава

Параметр	Головная катушка	Коленная катушка
Тип	Многоканальная	Квадратурная
Отношение сигнал/шум (SNR)	Выше для коленной катушки относительно головной	
Регион сканирования	Распределён равномерно Удобство сканирования всей кисти (ревматология)	Локально (до 150 мм) высокий Удобно сканировать, разделив на два региона (лучезапястный и запястье/пястные кости и фаланги пальцев (травматология)
Артефакты от сосудов	Слабо выражены	Сильно выражены, в ряде программ необходимо подавление
Возможность вертикального и горизонтального расположения	Да	Да
Программы сканирования	Необходима настройка	Необходима настройка
Удобство для пациента	Удобно	Относительно удобно

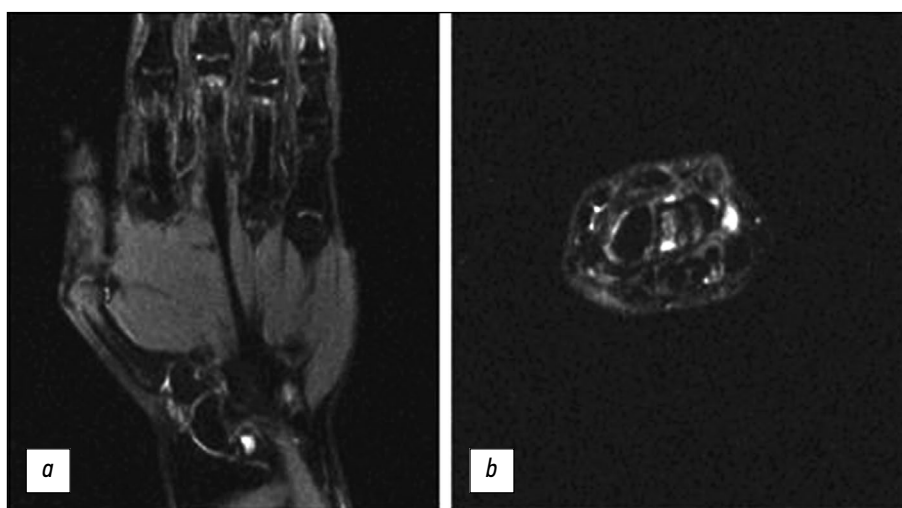


Рис. 4. Магнитно-резонансная томография кисти с применением головной радиочастотной катушки, с использованием лонгеты для фиксации кисти. PD-взвешенные изображения с жироподавлением: *a* — в коронарной плоскости; *b* — в аксиальной плоскости.

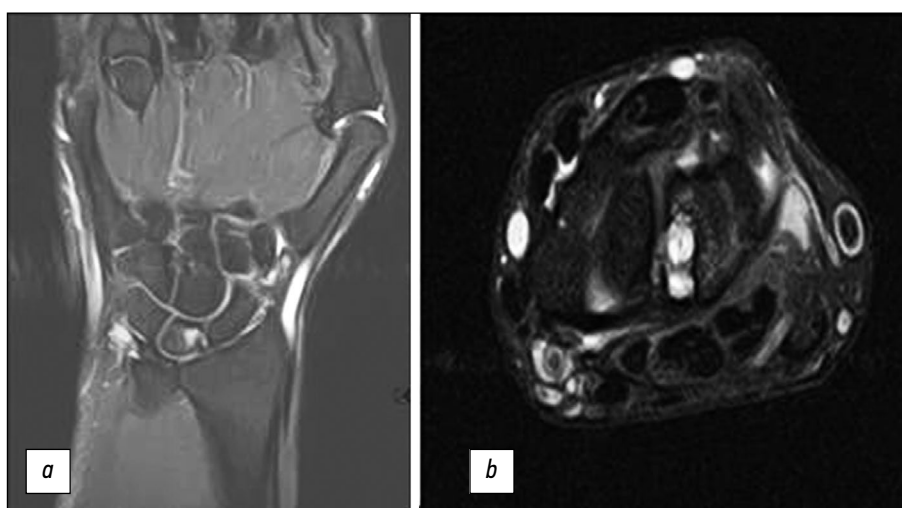


Рис. 5. Магнитно-резонансная томография кисти с применением коленной радиочастотной катушки. PD-взвешенные изображения с жироподавлением: *a* — в коронарной плоскости; *b* — в аксиальной плоскости.

туннеля. Кроме того, следует обратить внимание на выбор катушки: решения некоторых производителей жёстко фиксируются на столе пациента, другие обеспечивают достаточную свободу перемещения, что позволяет обеспечить расположение кисти чётко в изоцентре.

5. Провести исследование по следующему протоколу сканирования [7–10]:

- а) в случае необходимости исследования всей кисти, например, при ревматологических заболеваниях (табл. 3):
 - предварительное сканирование с целью настройки и позиционирования срезов;
 - PD-ВИ FS в сагиттальной плоскости (PD FS, сар);
 - PD-ВИ FS в коронарной плоскости (PD FS, кор);
 - PD-ВИ FS в аксиальной плоскости (PD FS, акс);
 - STIR в коронарной плоскости (STIR, кор);
 - T1-ВИ в коронарной плоскости (T1-ВИ, кор).

Осуществить позиционирование импульсных последовательностей: locator — изображения низкого разрешения в трёх проекциях, полученные менее чем за 25 секунд.

- Аксиальная плоскость — получаемые срезы должны покрывать всю область запястья на протяжении трёх срезов выше запястно-пястного сустава и трёх срезов ниже дистального лучелоктевого сустава.
 - Коронарная плоскость — срезы должны захватывать всю область запястья от тыльной до ладонной поверхности.
 - Сагиттальная плоскость — срезы должны захватывать всю область запястья от медиальной до латеральной поверхности области лучезапястного сустава.
- б) в случае необходимости исследования запястья, например, при травме (табл. 4):
 - предварительное сканирование с целью настройки и позиционирования срезов;

Таблица 3. Рекомендуемые параметры для исследования кисти (томограф Toshiba, головная радиочастотная катушка)

ИП	TR	TE	Толщина среза, мм	FOV, см	ETL	Матрица
PD-ВИ FS, саг	2050	36	3	15×20	7	320×224
PD-ВИ FS, кор	2700	36	3	15×15	7	320×224
PD-ВИ FS, акс	2700	36	3	15×15	7	320×224
STIR, кор	3632	36	3	15×15	7	320×224
T1-ВИ, кор	646	15	3	15×15	1	320×224

Примечание. акс/кор/саг — аксиальная, корональная и сагиттальная плоскости; ВИ — взвешенные изображения; ETL (echo train length) — длина эхо-трейна; FOV (field of view) — поле обзора; PD FS — протонная плотность с подавлением жира; STIR — инверсия-восстановление; TE (echo time) — время эхо; TR (repetition time) — время повторения. Расстояние между срезами (gap) составляет 10% от толщины среза. Время инверсии для STIR — 130 мс.

Таблица 4. Рекомендуемые параметры для исследования запястья (томограф Toshiba, коленная радиочастотная катушка)

	TR	TE	Толщина среза, мм	FOV, см	ETL	Матрица
T1-ВИ, кор	273	10	3	20×16	1	368×240
T2-ВИ, кор	3660	45	3	12×12	7	320×256
PD FS, акс	3630	36	3	12×12	7	256×224
PD FS, кор	2116	45	3	18×16	7	256×256
STIR, саг	2464	12	3	15×15	7	320×224

Примечание. акс/кор/саг — аксиальная, корональная и сагиттальная плоскости; ВИ — взвешенные изображения; ETL (echo train length) — длина эхо-трейна; FOV (field of view) — поле обзора; PD FS — протонная плотность с подавлением жира; STIR — инверсия-восстановление; TE (echo time) — время эхо; TR (repetition time) — время повторения. Расстояние между срезами (gap) составляет 10% от толщины среза. Время инверсии для STIR — 130 мс.

- T1-ВИ в корональной плоскости (T1-ВИ, кор);
- T2-ВИ в корональной плоскости (T2-ВИ, кор);
- PD FS в аксиальной плоскости (PD FS, акс);
- PD FS в корональной плоскости (PD FS, кор);
- STIR в сагиттальной плоскости (STIR, саг);
- 3D WET в корональной плоскости (опционально).

Осуществить позиционирование импульсных последовательностей: locator — изображения низкого разрешения в трёх проекциях, полученные менее чем за 25 секунд.

- Аксиальная плоскость — срезы должны охватывать всю область кисти от дистальных фаланг пальцев до уровня дистального лучелоктевого сустава.
- Корональная плоскость — срезы должны охватывать всю область кисти от тыльной до ладонной поверхности.
- Сагиттальная плоскость — срезы должны охватывать всю область кисти от I до V пальца.

При обзорных исследованиях, например, при диагностике ревматоидных процессов, STIR целесообразно использовать потому, что данная импульсная последовательность позволяет комплексно оценить объём воспалительных изменений, в то время как PD-ВИ FS является более селективной, обеспечивает более высокое пространственное разрешение, что имеет важное значение для диагностики более мелких структур.

К ограничениям предложенного метода фиксации можно отнести то, что у пациентов с контрактурами

или крупными объёмными образованиями, грубо деформирующими контур (рис. 6), применение вышеописанной лонгеты может быть невозможным, однако в таком случае стоит придерживаться остальных рекомендаций по выполнению исследования.

ОБСУЖДЕНИЕ

Кисть представляет собой дистальную часть верхней конечности, включает кости запястья, пясти и фаланги пальцев, а также связки, сосуды и нервы. Запястье состоит из двух рядов костей: проксимального, включающего ладьевидную (os scaphoideum), полулунную (os lunatum), трёхгранную (os triquetrum) и гороховидную (os pisiforme) кости, а также дистального, включающего кость-трапецию (os trapezium), трапециевидную (os trapezoideum), головчатую (os capitatum), крючковидную (os hamatum) кости [11] (рис. 7).

МРТ — один из основных методов лучевой диагностики для оценки структур кисти, однако при первичном обследовании чаще применяется рентгенография [12]. МРТ, например, применяется для оценки ТФХК, главная функция которого заключается в амортизации, так как в нейтральном положении ТФХК принимает на себя около 18–20% осевой нагрузки на запястье [4]. Так, например, было показано, что МРТ при хронической боли в запястье оказалась полезным инструментом для выявления

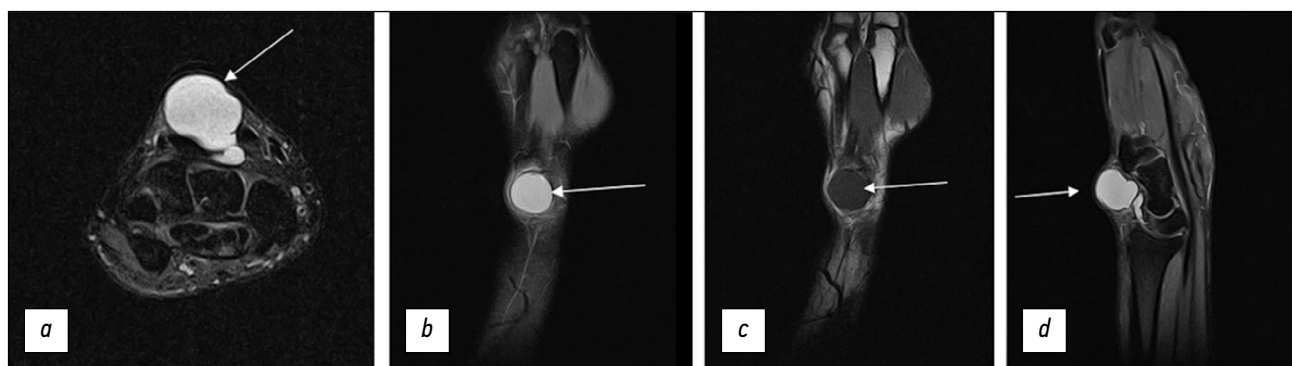


Рис. 6. Крупная инкапсулированная гигрома тыльной поверхности правой кисти, со связью с полостью лучезапястного сустава в виде шейки: *a* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в аксиальной плоскости; *b* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в коронарной плоскости; *c* — T1-взвешенные изображения в коронарной плоскости; *d* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в сагиттальной плоскости.

центральных разрывов ТФХК, а также повреждений в месте прикрепления к лучевой кости, однако разрывы со стороны локтевой кости обычно не визуализируются [13]. В другой работе А.М.Ф. El-Deek и соавт. сравнивали чувствительность, специфичность и точность МРТ и ультразвукового исследования (УЗИ) в исследовании патологии кисти. Было показано, что УЗИ практически не уступает МРТ в оценке патологии сухожилий и даже несколько превосходит МРТ в диагностике карпального синдрома и наличия инородных тел. С другой стороны, МРТ превосходит УЗИ в оценке ТФХК, а также в оценке отёка и характеристике образований [14]. Кроме того, в литературе представлены данные о том, что при проведении МРТ на томографе 7 Тл анатомические структуры кисти визуализируются лучше, чем при МРТ на томографе 3 Тл [15].

В 2018 году были опубликованы рекомендации ACR (American College of Radiology) по применению лучевых методов исследования при хронической боли в запястье (табл. 5). Однако авторы отмечают скудные

рекомендации, касающиеся технических аспектов и методики проведения МРТ кисти: требуется специализированная РЧ-катушка по типу «птичьей клетки» для лучшей визуализации, а также следует отдавать предпочтение МР-томографам с полем 3 Тл, нежели 1,5 Тл или ниже [12].

Варианты радиочастотных катушек, применяемых для магнитно-резонансной томографии кисти

Еще в 2002 году была опубликована работа, где авторы представляют оптимизированную для кисти РЧ-катушку типа «птичьей клетки». Интересно, что применение данной катушки позволило улучшить SNR на 50–90% [16] — это нашло отражение и в актуальных рекомендациях ACR [12].

На настоящий момент существует несколько вариантов специализированных РЧ-катушек, предназначенных для визуализации кисти. Так, например,

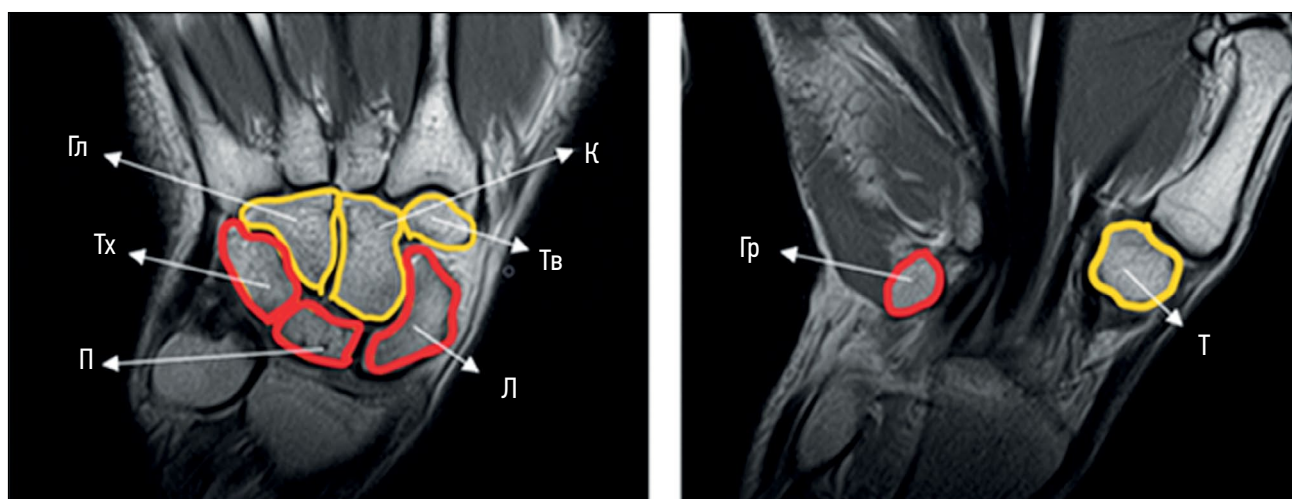


Рис. 7. Левая кисть, кости запястья, магнитно-резонансная томограмма (T1-взвешенные изображения, коронарная плоскость). Красным цветом маркирован проксимальный ряд, жёлтым — дистальный ряд костей. Л — ладьевидная, П — полулунная, Тх — трёхгранная, Гр — гороховидная, Т — кость-трапеция, Тв — трапецевидная, К — крючковидная, Гл — головчатая.

Таблица 5. Выжимка из рекомендации American College of Radiology по применению лучевых методов исследования при хронической боли в запястье

Цель/причина	Исследование
Первичная диагностика	Рентгенография
Результаты рентгенограммы неоднозначные, у пациента сохраняются симптомы	MPT кисти без внутривенного контрастирования
Диагностика артрита с целью определить лечение или осуществить прогнозирование	MPT кисти с/без внутривенного контрастирования
Подозрение на болезнь Кинбека	Рентгенография, в случае рентген-негативных изменений — MPT кисти без внутривенного контрастирования
Пальпируемое образование кисти или подозрение на гигрому	MPT/УЗИ кисти без внутривенного контрастирования
Подозрение на скрытые или стрессовые переломы костей кисти	MPT/КТ кисти без внутривенного контрастирования
Предшествующие переломы ладьевидной кости и хроническая боль в запястье для оценки осложнений переломов	MPT/КТ кисти без внутривенного контрастирования
Диагностика туннельного синдрома	Клиническая оценка в сочетании с электрофизиологическими исследованиями (метод стимуляционной электронейромиографии). Дальнейшая визуализация обычно не требуется, но в отдельных случаях может быть целесообразно проведение УЗИ запястья или MPT без контраста

Примечание. MPT — магнитно-резонансная томография; КТ — компьютерная томография; УЗИ — ультразвуковое исследование.

компания Siemens (Германия) предлагает 16-канальную РЧ-катушку «Hand/Wrist 16». Основные особенности данной РЧ-катушки:

- специальная внутренняя конструкция позволяет быстро и легко уложить кисть пациента;
- стабилизирующие подушечки обеспечивают комфортное положение кисти;
- держатель позволяет смещать центр;
- РЧ-катушка легко устанавливается в МР-томографе [17].

Компания ScanMed (США) предлагает катушку «Hand and Wrist MRI Coil», основной характеристикой которой является совместимость с МР-томографами различных производителей, таких как Siemens, General Electric (США) и Philips (Нидерланды). По данным производителя, эта катушка для визуализации запястья, кисти или фаланг пальцев продемонстрировала значительное улучшение качества изображения при области сканирования размером до 8 см при сравнении с характеристиками других часто используемых катушек (коленные РЧ-катушки, квадратурные РЧ-катушки для конечностей, 4-канальные РЧ-катушки для запястья и др.). Данная РЧ-катушка позволяет располагать руку пациента сбоку от него (при положении пациента лёжа на спине) или над его головой в позе «супермена» (при положении пациента лёжа на животе). Кроме того, она имеет два варианта исполнения с двумя отделяемыми основаниями, что позволяет сканировать как в краниокаудальном, так и в каудокраниальном направлении [18].

Существующие аналоги предлагаемой лонгеты

В работе С.Г. Peterfy и соавт. [19] описан аналог предлагаемой лонгеты, представленный компанией Spire Sciences, Inc. Согласно публикации, кисть располагают на специальной акриловой М-образной раме таким образом, что большой палец и остальные четыре пальца кисти сведены и находятся в одной плоскости друг с другом. Кисть и запястье закреплены на раме с помощью самоклеящегося эластичного бинта [19].

Варианты укладок пациента

Существует несколько вариантов укладок пациента. В «позе супермена» пациент укладывается в положение лёжа на животе с вытянутой над головой рукой таким образом, чтобы запястье находилось как можно ближе к изоцентру магнитного поля, что позволяет получить наибольшее значение SNR и наиболее однородный сигнал.

Ввиду того, что эта поза является неудобной для многих пациентов, существует иная укладка: пациента можно расположить в положении лёжа на спине, а руку уложить вдоль тела. Однако такая поза отдаляет руку от изоцентра магнита и приводит к снижению сигнала и, как следствие, плохому и неоднородному подавлению сигнала от жировой ткани [20].

Кроме того, в зарубежной литературе описана и другая укладка — «поза молящегося»: пациента располагают лёжа на боку с согнутым локтем, в результате чего

запястье оказывается рядом с лицом, соответственно ближе к изоцентру магнита [20]. В учебно-методическом пособии «Стандарты выполнения магнитно-резонансной томографии» А.В. Бажин и соавт. [10] предлагают аналогичные два варианта укладок: в положении пациента на животе головой по направлению к апертуре туннеля магнита, рука вытянута и поднята вверх (поза «супермена»); в положении пациента на спине, исследуемая рука расположена вдоль туловища, в нейтральном положении.

Различные предлагаемые варианты протоколов сканирования

В учебно-методическом пособии «Стандарты выполнения магнитно-резонансной томографии» А.В. Бажин и соавт. [10] предлагают следующий протокол сканирования при исследовании кисти.

1. T1-ВИ в корональной плоскости.
2. T2-ВИ в корональной плоскости.
3. STIR в корональной плоскости.
4. T1-ВИ в сагиттальной плоскости.
5. STIR в сагиттальной плоскости.
6. STIR в аксиальной плоскости.
7. GRE в аксиальной плоскости.

В European Society of Skeletal Radiology Sports Subcommittee [7] рекомендуют следующий протокол, преимущественно для исследования пальцев кисти.

1. PD-ВИ FS в аксиальной плоскости.
2. T1-ВИ в аксиальной плоскости.
3. PD-ВИ FS в корональной плоскости.
4. PD-ВИ FS в сагиттальной плоскости.
5. STIR в корональной плоскости.

В European Society of Skeletal Radiology Arthritis Subcommittee [8] предлагают следующий протокол при ревматологических заболеваниях.

1. STIR/T2-ВИ FS в корональной плоскости.
2. T1-ВИ в корональной плоскости.
3. PD-ВИ FS/STIR/T2-ВИ FS в аксиальной плоскости.

4. T1-ВИ в аксиальной плоскости.
5. PD-ВИ FS в сагиттальной плоскости.
6. T1-ВИ с контрастным усилением в аксиальной плоскости (опционально).

Изображения с артефактами

Аудит выполняемых МР-исследований кисти показал, что нередко они получаются неинформативными: с низким разрешением, низкой контрастностью (низким SNR) и артефактами от движения пациентов или наличия металлических предметов в поле сканирования (рис. 8–10).

Таким образом, вопрос методики проведения МРТ кисти, соблюдение которой обеспечивало бы максимальный комфорт пациента и высокое качество изображений, остаётся актуальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кисть руки — сложная анатомическая структура. МРТ является одним из наиболее часто используемых методов лучевой диагностики для исследования скелетно-мышечной системы за счёт отсутствия ионизирующего излучения, высокой мягкотканной контрастности, возможности выявлять рентген-негативные изменения костной ткани. Для получения качественных МР-изображений требуется учесть целый ряд факторов: соблюдение общих правил безопасности при проведении МРТ, настройка параметров сканирования, грамотная фиксация кисти пациента в катушке. Использование предлагаемой лонгеты позволит стандартизировать проводимые исследования и уменьшить двигательные артефакты ввиду удобной фиксации и простоты применения. Таким образом, соблюдение рекомендаций, которые предлагаются в данной работе, может стать ключом к получению более качественных МР-изображений, сокращению общего времени сканирования и уменьшению ошибок интерпретации МРТ кисти.

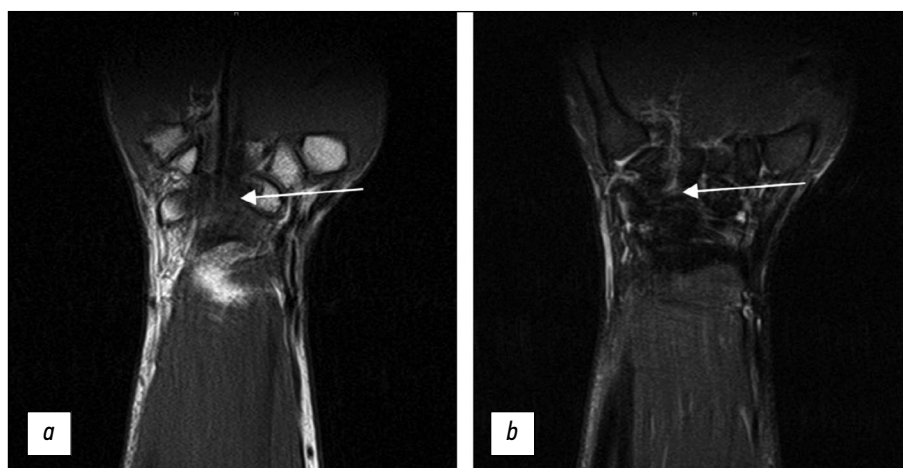


Рис. 8. Снижение качества визуализации на фоне двигательных артефактов без использования лонгеты (стрелки): *a* — T1-взвешенные изображения в корональной плоскости; *b* — протокол инверсия-восстановление в корональной плоскости.



Рис. 9. Снижение качества визуализации у пациента с патологией триангулярного фиброзно-хрящевого комплекса на фоне двигательных артефактов (стрелки) и нетипичной укладки (без лонгеты): *a* — T2-взвешенные изображения в корональной плоскости; *b* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в сагиттальной плоскости.



Рис. 10. Снижение качества визуализации на фоне технических артефактов от кольца: T1-взвешенные изображения в корональной плоскости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (№ в Единой государственной информационной системе учёта: 123031500007-6) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счёт средств бюджета города Москвы государственными бюджетными (автономными) учреждениями подведомственным Департаменту здравоохранения».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: Ю.А. Васильев — концепция и дизайн работы, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка; Д.С. Семенов — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, разработка предлагаемой лонгеты, проведение технического аудита; А.В. Петряйкин — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, проведение технического аудита, разработка предлагаемой лонгеты, утверждение итогового варианта текста рукописи; А.А. Учеваткин — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, проведение технического аудита, редактирование и утверждение итогового варианта текста

рукописи; Л.Р. Абуладзе — анализ данных, написание текста статьи; А.В. Бажин, Д.Е. Шарова — редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a team of authors as part of the research work “Scientific support for standardization, safety and quality of magnetic resonance imaging” (No. in the Unified State Information System of Accounting: 123031500007-6) in accordance with Order dated December 21, 2022 No. 1196 “On approval of state assignments, the financial support of which is carried out from the budget of the city of Moscow to state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Department of Health”.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Yu.A. Vasiliev — concept and design of the work, setting up the proposed scanning protocol, editing and approval of the final version of the manuscript, advisory support; D.S. Semenov — concept and design of the work, data analysis, writing the text of the article, setting up the proposed scanning protocol, developing the proposed splint, conducting a technical audit; A.V. Petryaykin — concept and design of the work, data analysis, writing the text of the article, setting up the proposed scanning protocol, conducting a technical audit, developing the proposed splint, approving the final version of the manuscript; A.A. Uchevatkin — concept and design of the work, data analysis, writing the text of the article, setting up the proposed scanning protocol, conducting a technical audit, editing and approving the final version of the manuscript; L.R. Abuladze — data analysis, writing the text of the article; A.V. Bazhin, D.E. Sharova — editing and approval of the final version of the manuscript, advisory support.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ratasvuori M.S., Lindfors N.C., Sormaala M.J. The clinical significance of magnetic resonance imaging of the hand: an analysis of 318 hand and wrist images referred by hand surgeons // *J Plast Surg Hand Surg*. 2022. Vol. 56, N 2. P. 69–73. doi: 10.1080/2000656X.2021.1933993
2. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии / сост. К.А. Сергунова, Е.С. Ахмад, А.В. Петрайкин, и др. Москва : Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 2019. EDN: GTOVGS
3. Семенов Д.С., Панина О.Ю., Хоружая А.Н., и др. Всероссийский рейтинг отделений лучевой диагностики: результаты конкурса 2020 года // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 1. С. 43–54. EDN: SWQWGE doi: 10.17816/DD95661
4. Andersson J.K., Hansson-Olofsson E., Karlsson J., et al. Cost description of clinical examination and MRI in wrist ligament injuries // *J Plast Surg Hand Surg*. 2018. Vol. 52, N 1. P. 30–36. doi: 10.1080/2000656X.2017.1319845
5. Hansford B.G. Multimodality Pitfalls of Wrist Imaging With a Focus on Magnetic Resonance Imaging // *Top Magn Reson Imaging*. 2020. Vol. 29, N 5. P. 263–272. doi: 10.1097/RMR.0000000000000254
6. Burns J.E., Tanaka T., Ueno T., et al. Pitfalls That May Mimic Injuries of the Triangular Fibrocartilage and Proximal Intrinsic Wrist Ligaments at MR Imaging // *RadioGraphics*. 2011. Vol. 31, N 1. P. 63–78. doi: 10.1148/rg.311105114
7. Guidelines for MR Imaging of Sports Injuries [Internet]. European Society of Musculoskeletal Radiology. Доступ по ссылке: <https://essr.org/content-essr/uploads/2016/10/ESSR-MRI-Protocols-Fingers.pdf>
8. Sudot-Szopińska I., Jurik A., Eshed I., et al. Recommendations of the ESSR Arthritis Subcommittee for the Use of Magnetic Resonance Imaging in Musculoskeletal Rheumatic Diseases // *Semin Musculoskelet Radiol*. 2015. Vol. 19, N 04. P. 396–411. doi: 10.1055/s-0035-1564696
9. Магнитно-резонансная томография лучезапястного сустава [Internet]. Московский стандарт лучевой диагностики. [дата обращения 10.10.2023] Доступ по ссылке: <https://standard.telemedai.ru/issledovanie/magnitno-rezonansnaya-tomografiya-luchezapyastnogo-sustava>
10. Бажин А.В., Блинов Н.Н., Васильев Ю.А., и др. Стандарты выполнения магнитно-резонансной томографии. Москва : Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, 2019.
11. Eschweiler J., Li J., Quack V., et al. Anatomy, Biomechanics, and Loads of the Wrist Joint // *Life*. 2022. Vol. 12, N 2. P. 188. doi: 10.3390/life12020188
12. Rubin D.A., Roberts C.C., Bencardino J.T., et al. ACR Appropriateness Criteria® Chronic Wrist Pain // *J Am Coll Radiol*. 2018. Vol. 15, N 5. P. S39–S55. doi: 10.1016/j.jacr.2018.03.021
13. Dreckmann S.C., von Schroeder H.P., Novak C.B., et al. Utility of Specialized Imaging for Diagnosis of Chronic Wrist Pain // *J Wrist Surg*. 2019. Vol. 08, N 06. P. 497–502. doi: 10.1055/s-0039-1697022
14. El-Deek A.M.F., Dawood E.M.A.E.-H.H., Mohammed A.A.M. Role of ultrasound versus magnetic resonance imaging in evaluation of non-osseous disorders causing wrist pain // *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2019. Vol. 50, N 1. P. 8. doi: 10.1186/s43055-019-0008-9
15. Götestrand S., Björkman A., Björkman-Burtscher I.M., et al. Visualization of wrist anatomy—a comparison between 7T and 3T MRI // *Eur Radiol*. 2022. Vol. 32, N 2. P. 1362–1370. doi: 10.1007/s00330-021-08165-5
16. Kocharian A., Adkins M.C., Amrami K.K., et al. Wrist: Improved MR Imaging with Optimized Transmit-Receive Coil Design. *Radiology*. 2002. Vol. 223, N 3. P. 870–876. doi: 10.1148/radiol.2233010824
17. Hand/Wrist 16 [Internet]. Siemens Healthineers. [дата обращения 10.10.2023] Доступ по ссылке: <https://www.siemens-healthineers.com/magnetic-resonance-imaging/options-and-upgrades/coils/hand-wrist-16>
18. Hand and Wrist MRI Coil [Internet]. ScanMed: A DirectMed Company. [дата обращения 10.10.2023] Доступ по ссылке: <https://www.scanmed.com/wrist-mri-coil>
19. Peterfy C.G., Olech E., DiCarlo J.C., et al. Monitoring cartilage loss in the hands and wrists in rheumatoid arthritis with magnetic resonance imaging in a multi-center clinical trial: IMPRESS (NCT00425932) // *Arthritis Res Ther*. 2013. Vol. 15, N 2. P. R44. doi: 10.1186/ar4202
20. Vassa R., Garg A., Omar I.M. Magnetic resonance imaging of the wrist and hand // *Polish J Radiol*. 2020. Vol. 85, N 1. P. 461–488. doi: 10.5114/pjr.2020.99034

REFERENCES

1. Ratasvuori MS, Lindfors NC, Sormaala MJ. The clinical significance of magnetic resonance imaging of the hand: an analysis of 318 hand and wrist images referred by hand surgeons. *J Plast Surg Hand Surg*. 2022;56(2):69–73. doi: 10.1080/2000656X.2021.1933993
2. Sergunova KA, Akhmad ES, Petryaikin AV, et al. *Safety Fundamentals of Magnetic Resonance Imaging*. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2019. (In Russ). EDN: GTOVGS
3. Semenov DS, Panina OY, Khoruzhaya AN, et al. All-Russian rating of radiology departments: 2020 competition results. *Digital Diagnostics*. 2022;3(1):43–54. EDN: SWQWGE doi: 10.17816/DD95661
4. Andersson JK, Hansson-Olofsson E, Karlsson J, et al. Cost description of clinical examination and MRI in wrist ligament injuries. *J Plast Surg Hand Surg*. 2018;52(1):30–36. doi: 10.1080/2000656X.2017.1319845
5. Hansford BG. Multimodality Pitfalls of Wrist Imaging With a Focus on Magnetic Resonance Imaging. *Top Magn Reson Imaging*. 2020;29(5):263–272. doi: 10.1097/RMR.0000000000000254
6. Burns JE, Tanaka T, Ueno T, et al. Pitfalls That May Mimic Injuries of the Triangular Fibrocartilage and Proximal Intrinsic Wrist Ligaments at MR Imaging. *RadioGraphics*. 2011;31(1):63–78. doi: 10.1148/rg.311105114
7. Guidelines for MR Imaging of Sports Injuries [Internet]. European Society of Musculoskeletal Radiology. Available from: <https://essr.org/content-essr/uploads/2016/10/ESSR-MRI-Protocols-Fingers.pdf>
8. Sudot-Szopińska I, Jurik A, Eshed I, et al. Recommendations of the ESSR Arthritis Subcommittee for the Use of Magnetic Resonance

Imaging in Musculoskeletal Rheumatic Diseases. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(04):396–411. doi: 10.1055/s-0035-1564696

9. Magnetic resonance imaging of the wrist joint [Internet]. Moscow Standard of Radiologic Diagnostics. [cited 10 Oct 2023] Available from: <https://standard.teledimed.ru/issledovanie/magnitno-rezonansnaya-tomografiya-luchezapayastnogo-sustava> (In Russ)

10. Bazhin AV, Blinov NN, Vasilev YuA, et al. *Standards for the performance of magnetic resonance imaging*. Moscow: Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov; 2019. (In Russ).

11. Eschweiler J, Li J, Quack V, et al. Anatomy, Biomechanics, and Loads of the Wrist Joint. *Life.* 2022;12(2):188. doi: 10.3390/life12020188

12. Rubin DA, Roberts CC, Bencardino JT, et al. ACR Appropriateness Criteria® Chronic Wrist Pain. *J Am Coll Radiol.* 2018;15(5):S39–S55. doi: 10.1016/j.jacr.2018.03.021

13. Dreckmann SC, von Schroeder HP, Novak CB, et al. Utility of Specialized Imaging for Diagnosis of Chronic Wrist Pain. *J Wrist Surg.* 2019;08(06):497–502. doi: 10.1055/s-0039-1697022

14. El-Deek AMF, Dawood EMAE-HH, Mohammed AAM. Role of ultrasound versus magnetic resonance imaging in evaluation of non-osseous disorders causing wrist pain. *Egypt J Radiol Nucl Med.* 2019;50(1):8. doi: 10.1186/s43055-019-0008-9

15. Götestrand S, Björkman A, Björkman-Burtscher IM, et al. Visualization of wrist anatomy — a comparison between 7T and 3T MRI. *Eur Radiol.* 2022;32(2):1362–1370. doi: 10.1007/s00330-021-08165-5

16. Kocharian A, Adkins MC, Amrami KK, et al. Wrist: Improved MR Imaging with Optimized Transmit-Receive Coil Design. *Radiology.* 2002;223(3):870–876. doi: 10.1148/radiol.2233010824

17. Hand/Wrist 16 [Internet]. Siemens Healthineers. [cited 10 Oct 2023] Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/magnetic-resonance-imaging/options-and-upgrades/coils/hand-wrist-16>

18. Hand and Wrist MRI Coil [Internet]. ScanMed: A DirectMed Company. [cited 10 Oct 2023] Available from: <https://www.scanmed.com/wrist-mri-coil>

19. Peterfy CG, Olech E, DiCarlo JC, et al. Monitoring cartilage loss in the hands and wrists in rheumatoid arthritis with magnetic resonance imaging in a multi-center clinical trial: IMPRESS (NCT00425932). *Arthritis Res Ther.* 2013;15(2):R44. doi: 10.1186/ar4202

20. Vassa R, Garg A, Omar IM. Magnetic resonance imaging of the wrist and hand. *Polish J Radiol.* 2020;85(1):461–488. doi: 10.5114/pjr.2020.99034

ОБ АВТОРАХ

* **Абуладзе Лия Руслановна;**

адрес: Россия, г. Москва, 127051, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;

ORCID: 0000-0001-6745-1672;

eLibrary SPIN: 8640-9989;

e-mail: drliaabuladze@gmail.com

Васильев Юрий Александрович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-0208-5218;

eLibrary SPIN: 4458-5608;

e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

Семенов Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук;

ORCID: 0000-0002-4293-2514;

eLibrary SPIN: 2278-7290;

e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

Петряйкин Алексей Владимирович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-1694-4682;

eLibrary SPIN: 6193-1656;

e-mail: PetryajkinAV@zdrav.mos.ru

Учеваткин Андрей Алексеевич, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-7284-4737;

eLibrary SPIN: 5575-4511;

e-mail: UchevatkinAA@zdrav.mos.ru

Бажин Александр Владимирович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-3198-1334;

eLibrary SPIN: 6122-5786;

e-mail: BazhinAV@zdrav.mos.ru

Шарова Дарья Евгеньевна;

ORCID: 0000-0001-5792-3912;

eLibrary SPIN: 1811-7595;

e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

AUTHORS' INFO

* **Liya R. Abuladze, MD;**

address: 24-1 Petrovka Str., Moscow, 127051, Russia;

ORCID: 0000-0001-6745-1672;

eLibrary SPIN: 8640-9989;

e-mail: drliaabuladze@gmail.com

Yuriy A. Vasilev, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-0208-5218;

eLibrary SPIN: 4458-5608;

e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

Dmitry S. Semenov, Cand. Sci. (Engineering);

ORCID: 0000-0002-4293-2514;

eLibrary SPIN: 2278-7290;

e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

Alexey V. Petraikin, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-1694-4682;

eLibrary SPIN: 6193-1656;

e-mail: PetryajkinAV@zdrav.mos.ru

Andrey A. Uchevatkin, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-7284-4737;

eLibrary SPIN: 5575-4511;

e-mail: UchevatkinAA@zdrav.mos.ru

Alexander V. Bazhin, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-3198-1334;

eLibrary SPIN: 6122-5786;

e-mail: BazhinAV@zdrav.mos.ru

Dariya E. Sharova, MD;

ORCID: 0000-0001-5792-3912;

eLibrary SPIN: 1811-7595;

e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author