

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-1-172-179>
УДК 616.98:578.834.1]-036.21:614.47:616.12-073.756.8-053.67

Референсные значения показателей магнитно-резонансной томографии сердца в группе лиц молодого возраста после перенесенного COVID-19 или вакцинации против SARS-CoV-2

Силантьева А.С.¹, Бородин О.Ю.^{1,2}, Спиридович А.Д.^{2,3}, Усов В.Ю.⁴

¹ ОГАУЗ «Томский областной онкологический диспансер» (ОГАУЗ «ТООД»), 634050, Российская Федерация, Томск, пр. Ленина, 115

² Сибирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации (СибГМУ Минздрава России), 634050, Российская Федерация, Томск, Московский тракт, 2

³ Областное государственное автономное учреждение здравоохранения «Детская больница № 1», 634050, Российская Федерация, Томск, Московский тракт, 4

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина Министерства здравоохранения Российской Федерации (НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина Минздрава России), 360055, Российская Федерация, Новосибирск, ул. Речуновская, 15

Аннотация

Введение. Пандемия COVID-19 выявила необходимость разработки надежных диагностических критериев для оценки состояния миокарда у лиц, перенесших инфекцию и вакцинацию. Отсутствие стандартизированных референсных значений параметров магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца для молодой популяции ограничивает возможности точной интерпретации выявляемых изменений.

Цель: установить референсные значения морфофункциональных параметров миокарда методом мультипараметрической МРТ у молодых лиц, перенесших COVID-19 в легкой форме и / или вакцинированных против SARS-CoV-2.

Материал и методы. В одномоментное поперечное исследование включены 28 добровольцев в возрасте 18–29 лет без сердечно-сосудистой патологии. Всем участникам выполнена мультипараметрическая МРТ сердца на томографе 1,5 Тл с последующей количественной оценкой морфофункциональных параметров и показателей деформации миокарда с помощью программного обеспечения Medis 3.0.18.10. Предварительно проведена оценка согласованности врачебных измерений с использованием коэффициента вариации и коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC).

Результаты. Наибольшая согласованность врачебных измерений характерна для глобальной продольной деформации (GLS) (ICC = 0,91) и конечно-диастолического объема (КДО) (ICC = 0,89), тогда как глобальная радиальная деформация (GRS) демонстрирует наибольшую вариабельность врачебных оценок (ICC = 0,72). При оценке фракции выброса (ФВ) левого желудочка (ЛЖ) выявлен наименьший коэффициент вариации (8,9%), что подтверждает его надежность как основного функционального параметра работы ЛЖ. Референсные значения показателей функции сердца приведены с интервалом 2,5–97,5 перцентили.

Заключение. Согласованность оценки функциональных параметров экспертами с разным опытом работы создает основу для стандартизированного подхода к интерпретации данных МРТ сердца у молодых пациентов. Полученные референсные значения показателей функции сердца могут служить ориентиром при выявлении отклонений, ассоциированных с воспалительными изменениями в сердце не только в результате перенесенного COVID-19 и вакцинации, но и других этиологических факторов.

Ключевые слова:

магнитно-резонансная томография сердца; референсные значения; COVID-19; вакцинация; деформация миокарда; согласованность измерений.

Финансирование:

исследование выполнено без финансовой поддержки грантов, общественных, некоммерческих, коммерческих организаций и структур.

Соответствие принципам этики:

исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в редакции 2013 г.). Протокол исследования одобрен этическим комитетом ОГАУЗ «ТООД» (протокол № 21 от 19.04.2021 г.). От всех участников исследования получено добровольное письменное информированное согласие.

Бородин Олег Юрьевич, e-mail: oyborodin@yandex.ru.

© Силантьева А. С., Бородин О. Ю., Спиридович А. Д., Усов В. Ю., 2026

Для цитирования:

Силантьева А.С., Бородин О.Ю., Спиридович А.Д., Усов В.Ю. Референсные значения показателей магнитно-резонансной томографии сердца в группе лиц молодого возраста после перенесенного COVID-19 или вакцинации против SARS-CoV-2. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2026;41(1):172–179. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-1-172-179>

Reference ranges for cardiac magnetic resonance imaging parameters in young adults after COVID-19 and / or Vaccination against SARS-CoV-2

Silantyeva A.S.¹, Borodin O.Yu.^{1, 2}, Spiridovich A.D.^{2, 3}, Ussov W.Yu.⁴

¹ Tomsk Regional Oncology Dispensary, 115, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation

² Siberian State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (SSMU), 2, Moskovsky tract, Tomsk, 634050, Russian Federation

³ Children's Hospital No. 1, 4 Moskovsky Trakt, Tomsk, 634050, Russian Federation

⁴ E. Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (Meshalkin National Medical Research Center), 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, 630055, Russian Federation

Abstract

Introduction. The COVID-19 pandemic has revealed the need for reliable diagnostic criteria to assess myocardial status in individuals who have recovered from the infection or undergone vaccination. The lack of standardized reference values for cardiac magnetic resonance imaging (MRI) parameters in the young population limits the accurate interpretation of detected changes.

Aim: To establish reference values for myocardial morpho-functional parameters using multiparametric cardiac magnetic resonance imaging (MRI) in young individuals who have had COVID-19 and/or were vaccinated against SARS-CoV-2.

Material and Methods. A single-center cross-sectional study included 28 volunteers (18-29 years old) without cardiac pathology. All participants underwent multiparametric cardiac MRI on a 1.5 T scanner, followed by quantitative assessment of morpho-functional parameters and myocardial deformation indices using Medis Suite software version 3.0.18.10. Preliminary, the assessment of inter-observer agreement using variation coefficient and intraclass correlation coefficient (ICC) were carried out.

Results. The highest agreement was observed for global longitudinal strain (ICC = 0.91) and end-diastolic volume (ICC = 0.89), while global radial strain demonstrated the greatest variability (ICC = 0.72). Ejection fraction showed the lowest coefficient of variation (8.9%), confirming its reliability as a primary functional parameter. Reference values for cardiac MRI parameters were established for the young population with percentile interval.

Conclusion. The obtained assessment of methodological consistency provides a basis for a standardized approach to interpreting cardiac MRI data in young patients. The developed set of reference values can serve as a benchmark for identifying deviations associated with inflammatory changes, not only resulting from past COVID-19 and vaccination, but other etiological factors.

Keywords:	cardiac MRI; reference values; COVID-19; vaccination; myocardial deformation; measurement agreement.
Funding:	the study was performed without financial support from grants, public, non-profit, or commercial organizations.
Compliance with ethical standards:	all volunteers participating in the study provided written voluntary informed consent. The study was conducted in accordance with the requirements of the World Medical Association's Declaration of Helsinki (2013 version). The study protocol was approved by the Local Ethics Committee (Tomsk Regional Oncology Dispensary, Protocol No. 21, dated April 19, 2021).
For citation:	Silantyeva A.S., Borodin O.Yu., Spiridovich A.D., Ussov W.Yu. Reference Ranges for Cardiac MRI Functional Parameters in Young Adults after COVID-19 and / or Vaccination against SARS-CoV-2. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2026;41(1):172–179. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-1-172-179

Введение

Пандемия COVID-19, вызванная коронавирусом SARS-CoV-2, привела к серьезным последствиям для здоровья населения. Помимо респираторных симптомов COVID-19 продемонстрировал множественные внелегочные проявления, включая значительные изменения в сердечно-сосудистой системе [1]. Патогенез повреждения миокарда при COVID-19 связан с местным воспалением и ассоциированным с ним интерстициальным отеком, а в долгосрочной перспективе с развитием фиброза. Это приводит к таким нарушениям, как аритмии, миокардит, сердечная недостаточность, а также другие формы повреждения миокарда [1–3]. Исследования, проведенные на базе многочисленных медицинских учреждений, подтвердили наличие изменений миокарда у добровольцев, перенесших новую коронавирусную инфекцию, даже спустя месяцы после выздоровления [4–6]. Риск развития поствакцинального миокардита в когорте молодых мужчин (особенно в возрасте 16–24 лет) на порядок выше после второй дозы (10–15 на 100 000), чем в среднем по популяции (1–2 случая на 100 000) [7].

В контексте диагностики миокардита особое значение приобретают методы магнитно-резонансной томографии (МРТ), особенно мультипараметрическая МРТ, ставшие важными неинвазивными и доступными инструментами для оценки состояния миокарда во время и после перенесенной инфекции за счет высокого качества визуализации структуры и функции сердца [8]. Обновленные критерии Лейк Луизы для выявления миокардита включают патологические изменения, отражающие явления отека, гиперемии и фиброза миокарда [9]. Картирование миокарда является перспективной методикой для повышения точности диагностики. По данным V.O. Puntmann и соавт. (2020), оценка нативного T1- и T2-картирования обладает высокой способностью в определении патологии миокарда, связанной с COVID-19 [5].

Помимо общепринятых параметров, характеризующих нарушения сократительной функции сердца, все большую популярность набирает оценка глобальной деформации миокарда. Наиболее распространенным параметром на данный момент является глобальная продольная деформация (GLS) левого желудочка (ЛЖ), значимое снижение которой может наблюдаться на субклиническом уровне и служить предиктором последующего снижения фракции выброса (ФВ) и развития неблагоприятных сердечно-сосудистых явлений [10]. Несмотря на противоречивые данные при измерении эхокардиографическими методами [11], есть основания полагать, что показатели глобальной радиальной (GRS) и циркулярной (GCS) деформации в совокупности с GLS обеспечат комбинированную оценку субэндокардиальной и субэпикардиальной функции ЛЖ. Это позволит добиться раннего выявления структурных изменений миокарда еще до порогового изменения ФВ [12].

Вместе с тем интерпретация полученных данных требует наличия надежных референсных значений, учитывающих особенности конкретного диагностического оборудования и методик постпроцессинга. Многие исследователи сходятся во мнении о необходимости определения локального референсного диапазона [13], особенно в условиях отсутствия единых стандартов оценки деформационных параметров методом МРТ.

Цель исследования: установить референсные значения морфофункциональных параметров миокарда

методом мультипараметрической МРТ у молодых лиц, перенесших COVID-19 в легкой форме и / или вакцинированных против SARS-CoV-2.

Материал и методы

В рамках одномоментного поперечного исследования была сформирована когорта добровольцев из числа студентов медицинского университета в возрасте 18–29 лет, 16 женщин и 12 мужчин (группа 1, $n = 28$). Все участники подписали форму информированного добровольного согласия и прошли стандартизированное анкетирование.

Критериями включения в группу 1 являлись: документально подтвержденный случай перенесенной коронавирусной инфекции и / или заверченный курс вакцинации против SARS-CoV-2 не менее чем за 1 нед. до проведения исследования. Критерии исключения: наличие установленных сердечно-сосудистых заболеваний в анамнезе (аритмии, сердечная недостаточность, инфаркт миокарда); воспалительные или хронические заболевания в стадии обострения; онкологическая патология (за исключением базалиомы); стандартные противопоказания к проведению МРТ; средняя и тяжелая форма перенесенной коронавирусной инфекции COVID-19.

Для формирования референсных значений параметров миокарда использованы результаты группы 1. Исследование проводилось в соответствии с Руководством по усилению отчетности об обсервационных исследованиях в эпидемиологии для обсервационных исследований (STROBE) и согласно принципам Хельсинкской декларации.

Для предварительной оценки согласованности врачебных измерений из общего числа добровольцев была сформирована отдельная когорта из участников, не перенесших COVID-19, но вакцинированных против SARS-CoV-2 (группа 2, $n = 12$). В этой когорте с отсутствием постковидных изменений миокарда и с однородным вакцинальным статусом минимизированы потенциальные источники вариабельности, связанные с патологическими процессами или различиями в иммунном ответе.

Все измерения для этой группы выполнялись независимо тремя исследователями на идентичном оборудовании с соблюдением стандартизированного протокола постпроцессинга. Врачи имели разный опыт работы с вендор-независимым программным обеспечением для получения функциональных характеристик миокарда. Особенностью методологии являлось проведение сравнительного анализа как абсолютных показателей (объемы камер сердца, масса миокарда, параметры деформации), так и индексированных значений, нормированных на площадь поверхности тела (ППТ), что позволило комплексно оценить воспроизводимость различных категорий МРТ-параметров.

Всем добровольцам проведена однократная МРТ сердца с применением бесконтрастных методик и с последующим измерением морфофункциональных параметров миокарда ЛЖ. МРТ-исследование выполнено на томографе Ingenia Evolution, 1,5 Тесла (Philips, Нидерланды) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тесла и апертурой гентри 0,7 м с параметрами градиентной системы: амплитуда градиента – 45 мТл/м, скорость нарастания градиента – 200 Тл/(м*с). Для сканирования применяли поверхностную радиочастотную катушку для грудной клетки с ЭКГ-синхронизацией и контролем экскурсии (задержка дыхания на выдохе). В процессе про-

ведения исследования получены магнитно-резонансные изображения сердца каждого добровольца с применением импульсной последовательности на основе когерентного градиентного эха со свободной процессией (Sense Balanced Turbo Field Echo – sBTFE). Использовали режим кинопетли в сечении по короткой оси ЛЖ, в 2- и 4-камерном сечении, сечении по ходу выносящего тракта ЛЖ

(3-камерном), T2-взвешенные изображения по короткой оси ЛЖ, с применением дополнительной импульсной последовательности с инверсивным жироподавлением (T2-SPIR) по короткой оси, а также T1-и T2-картирование по короткой оси ЛЖ (табл. 1). Исследования выполняли с временным разрешением до 50 мс и общим количеством фаз сканирования, составляющих в среднем 22.

Таблица 1. Характеристика импульсных последовательностей магнитно-резонансной томографии сердца
Table 1. Characteristics of pulse sequences for cardiac MRI

Импульсная последовательность	Проекция	TR	TE	Угол поворота	Толщина среза
sBTFE CINE	Короткая ось, 2-, 3-, 4-камеры	2,8 мс	1,4 мс	60°	8 мм
T2-SPIR	Короткая ось	31,4 мс	1,4 мс	82°	8 мм
MOLLI (T1-картирование)	Короткая ось	2,2 мс	1,1 мс	50°	8 мм
mGRASE (T2-картирование)	Короткая ось	> 2000 мс	60–70 мс	90°	10 мм

Для постобработки использовали программное обеспечение Medis Suite 3.0.18.10 (France) с опциями оценки деформации (QStrain 2.0.30.0) и функции (QMass 8.1.30.4), основывающимися на методе 3D-моделирования.

Аналізу были подвергнуты следующие параметры: масса миокарда ЛЖ (ММЛЖ) без учета массы трабекул, конечный диастолический объем (КДО) ЛЖ, конечный систолический объем (КСО) ЛЖ, ударный объем (УО), ФВ, параметры деформации миокарда – GLS, GCS и GRS, время T1- и T2-релаксации по результатам картирования по сегментно в соответствии с 17-сегментной моделью ЛЖ (за исключением 17-го верхушечного сегмента).

Статистическая обработка включала оценку нормальности распределения количественных показателей по критерию Шапиро – Уилка с пороговым уровнем значимости $p = 0,05$. Для оценки согласованности измерений между исследователями вычисляли коэффициенты вариации и внутриклассовой корреляции (ICC). Интерпретацию значений ICC проводили согласно общепринятым критериям: значения менее 0,50 расценивали как недостаточную согласованность, 0,50–0,75 – умеренную, 0,75–0,90 – хорошую, более 0,90 – отличную согласованность измерений. Для каждого параметра дополнительно вычисляли 95% доверительные интервалы ICC. В дополнение к анализу коэффициентов внутриклассовой корреляции для оценки согласованности измерений между исследователями была рассчитана средняя абсолютная разность (Mean Absolute Difference, MAD), представляющая собой метрику абсолютной величины расхождений. Данный показатель вычислялся как среднее арифметическое абсолютных разностей между измерениями всех возможных пар исследователей для каждого параметра у каждого пациента, с последующим усреднением по всей выборке. Для обеспечения сопоставимости между параметрами с различными диапазонами значений абсолютные разности были выражены в процентах от среднего значения соответствующего параметра.

Для описания количественных признаков в зависимости от их распределения использовали среднее значение или медиану. Референсные значения рассчитывали как 2,5–97,5 перцентили. Статистические расчеты проводили в пакете IBM SPSS STATISTICS 27.0.1.

Результаты

В группе 1 охват вакцинацией составил 78,6% (22 из 28 добровольцев). Наблюдались выраженные гендерные различия в частоте вакцинации: среди женщин доля вак-

цинированных достигла 87,5% (14 из 16), в то время как среди мужчин этот показатель был существенно ниже – 66,7% (8 из 12). Доминирующей в исследуемой популяции являлась вакцина Гам-КОВИД-Вак (Спутник V), которая была применена у 86,4% вакцинированных добровольцев (у 19 из 22). Среди альтернативных препаратов отмечались единичные случаи использования вакцин Vero cell, Pfizer, а также комбинированной схемы вакцинации. Все вакцинации были проведены за 3–12 мес. до момента исследования, что исключало влияние острого поствакцинального периода на результаты. На момент исследования добровольцы не предъявляли жалоб кардиологического профиля и не получали кардиотропную терапию.

Важным аспектом является то, что все добровольцы, включенные в исследование, независимо от статуса вакцинации, перенесли заболевание в легкой форме, включая группу невакцинированных лиц (6 человек, 21,4% выборки). Это позволяет рассматривать полученные референсные значения параметров МРТ сердца как репрезентативные для добровольцев с благоприятным течением постковидного периода, независимо от их вакцинального статуса.

Все участники в группе исследования согласованности врачей измерений морфофункциональных показателей работы сердца (группа 2) получили полный курс двукратной вакцинации: 11 участников (92%) вакциной Гам-КОВИД-Вак, один (8%) – вакциной Pfizer. Вакцинальный статус в данной группе был практически единообразен, что особенно значимо для исключения дополнительного источника межличностных различий при оценке согласованности врачебных измерений.

Для анализа согласованности измерений, выполненных тремя независимыми экспертами, использовали ICC в двухфакторной модели смешанных эффектов. Данная модель учитывала как межличностную вариабельность измерений у добровольцев, так и систематические различия между врачами-исследователями. Статистическая значимость всех рассчитанных коэффициентов внутриклассовой корреляции $p < 0,001$. Средняя абсолютная разность между измерениями трех исследователей варьировала от 3,8% для EndoGLS до 12,3% для GRS (табл. 2).

Наибольшая согласованность наблюдается для параметров EndoGLS (ICC = 0,91; 95% ДИ 0,86–0,95), КДО / ППТ (ICC = 0,88; 95% ДИ 0,81–0,93) и КДО (ICC = 0,89; 95% ДИ 0,83–0,94). Удовлетворительная согласованность отмечена для GRS (ICC = 0,72), MyoGCS (ICC = 0,76),

Таблица 2. Согласованность врачебных оценок морфофункциональных показателей сердца
Table 2. Consistency of physician assessment of morphological and functional heart parameters

Показатель	MAD, %	ICC(2,1)	95% ДИ для ICC(2,1)	Интерпретация
ММЛЖ	8,1	0,79	0,67–0,88	Удовлетворительно
КДО	5,2	0,89	0,83–0,94	Отлично
КСО	6,8	0,85	0,76–0,91	Хорошо
УО	5,9	0,87	0,79–0,93	Хорошо
ФВ	4,5	0,82	0,71–0,90	Хорошо
МО	7,3	0,81	0,69–0,89	Хорошо
ММЛЖ / ППТ	7,2	0,83	0,72–0,91	Хорошо
КДО / ППТ	5,0	0,88	0,81–0,93	Отлично
КСО / ППТ	6,5	0,80	0,68–0,89	Хорошо
УО / ППТ	5,7	0,86	0,77–0,92	Хорошо
МО / ППТ	7,8	0,79	0,66–0,88	Удовлетворительно
EndoGLS	3,8	0,91	0,86–0,95	Отлично
MyoGCS	6,2	0,76	0,74–0,91	Удовлетворительно
GRS	12,3	0,72	0,57–0,84	Удовлетворительно

МО (ICC = 0,81) и ММЛЖ ICC = 0,79). Согласованность измерений остальных показателей оказалась хорошей. Проведенное исследование подтвердило высокую согласованность оценки морфофункциональных параметров миокарда исследователями с разным уровнем опыта, что обосновывает возможность использования полученных данных в качестве референсных значений для клинической практики.

В ходе исследования группы 1 установлены референсные значения параметров МРТ сердца для добровольцев, перенесших COVID-19 в легкой форме и / или вакцинированных против SARS-CoV-2.

У добровольцев мужского пола все исследуемые параметры имели нормальное распределение ($p > 0,05$) (табл. 3). Референсные диапазоны для ключевых показателей составили: КДО – 97,8–233,1 мл, ФВ – 46,5–66,1%, ММЛЖ – 31,7–118,3 г. Показатели деформации миокарда находились в следующих диапазонах: EndoGLS – от –26,5 до –15,9%, MyoGCS – от –22,3 до –11,1%.

Референсные значения показателей среди женщин представлены в таблице 4. Нормальное распределение наблюдалось для КДО (76,4–170,2 мл), УО (44,6–101,8 мл), ФВ (48,5–71,2%) и параметров деформации: EndoGLS (от –28,6 до –17,0%), MyoGCS (от –23,9 до –14,1%). Однако такие показатели, как ММЛЖ (39,2–71,6 г), КСО (32,9–79,6 мл), ММЛЖ / ППТ (24,6–45,1 г/м²),

КСО / ППТ (19,2–46,1 мл/м²) и GRS (43,5–150,5%) демонстрировали отклонение от нормального распределения ($p < 0,05$).

Обсуждение

Поскольку оценка согласованности измерений параметров миокарда врачами с различным опытом работы проведена с использованием вендор-независимого программного обеспечения, это означает возможность в дальнейшем использовать данные, полученные на разном оборудовании и различных вендорах. Анализ показал, что высокая воспроизводимость характерна для параметров GLS (ICC = 0,91) и КДО (ICC = 0,89), а в отношении GRS между исследователями показана наибольшая вариабельность (ICC = 0,72). Эти данные согласуются с результатами других исследований, подчеркивающих высокую надежность оценки деформационных параметров методом МРТ [10, 12].

Проведенное исследование позволило установить комплекс референсных значений морфофункциональных параметров миокарда, определенных методом МРТ, у лиц молодого возраста разного пола. Выявлены гендерные особенности распределения показателей: в женской подгруппе параметры ММЛЖ, КСО и GRS имели отклонение от нормального распределения, а у мужчин все исследуемые параметры распределены нормально.

Таблица 3. Референсные значения параметров магнитно-резонансной томографии сердца для мужчин ($n = 12$)
Table 3. Reference values of cardiac MRI parameters for men ($n = 12$)

Показатель	Среднее	Референсный диапазон	Коэффициент вариации, %
ММЛЖ, г	75,0	31,7–118,3	28,9
КДО, мл	165,5	97,8–233,1	20,5
КСО, мл	73,9	48,8–99	17,0
УО, мл	91,6	43,9–139,3	26,0
ФВ, %	56,3	46,5–66,1	8,7
МО, л/мин	6,1	3,1–9,2	24,9
ММЛЖ / ППТ, г/м ²	39,0	26,4–51,7	16,2
КДО / ППТ, мл/м ²	85,6	61,1–110,1	14,3
КСО / ППТ, мл/м ²	38,4	24,9–51,9	17,6
УО / ППТ, мл/м ²	47,2	33–61,4	15,1
МО / ППТ, л/мин/м ²	3,1	1,8–4,5	20,7
EndoGLS, %	–21,2	–26,5...–15,9	12,4
MyoGCS, %	–16,70	–22,3...–11,1	16,8
GRS, %	97,84	26,6–169,1	36,4

Таблица 4. Референсные значения параметров магнитно-резонансной томографии сердца для женщин ($n = 16$)
Table 4. Reference values of cardiac MRI parameters for women ($n = 16$)

Параметр	Среднее / Медиана	Референсный диапазон	Коэффициент вариации, %
ММЛЖ, г	52,0	39,2–71,6	16,9
КДО, мл	123,3	76,4–170,2	19,0
КСО, мл	48,2	32,9–79,6	24,6
УО, мл	73,2	44,6–101,8	19,5
ФВ, %	59,9	48,5–71,2	9,5
МО, л/мин	5,2	2,8–7,7	23,6
ММЛЖ / ППТ, г/м ²	30,9	24,6–45,1	18,1
КДО / ППТ, мл/м ²	74,7	50,0–99,3	16,5
КСО / ППТ, мл/м ²	29,2	19,2–46,1	22,3
УО / ППТ, мл/м ²	44,3	28,5–60,1	17,8
МО / ППТ, л/мин/м ²	3,2	1,6–4,7	24,7
EndoGLS, %	–22,8	–28,6...–17,0	12,7
MyoGCS, %	–19,0	–23,9...–14,1	12,9
GRS, %	77,7	43,5–150,5	39,7

Продемонстрирован значительный разброс индивидуальных значений, что особенно выражено для показателей ММЛЖ (вариация у мужчин – 28,9%, у женщин 16,9%) и GRS (вариация – 36,4 и 39,7% соответственно). Напротив, ФВ характеризуется наименьшей вариабельностью (коэффициент вариации у мужчин – 8,7%, у женщин – 9,5%), что подтверждает ее статус наиболее стабильного функционального параметра [15]. Полученные результаты указывают на снижение нижней границы нормы у молодых мужчин до 46,5%, а у молодых женщин до 48,5%.

Особого внимания заслуживает анализ деформационных показателей, где отмечается последовательное уменьшение вариабельности от GRS к GLS и GCS в подгруппах мужчин и женщин. Выявленные значения EndoGLS (медиана у мужчин –21,2%; –22,8% у женщин) соответствуют данным, полученным в исследованиях здоровых популяций [16–18].

Сравнительный анализ морфометрических показателей выявил их соответствие референсным значениям, установленным в исследованиях А.М. Масаега и соавт. для смежной возрастной категории [15]. Вместе с тем обращает на себя внимание некоторое увеличение объемных показателей ЛЖ, что может отражать сердечно-сосудистые эффекты перенесенной коронавирусной инфекции, как это было показано V.O. Puntmann и соавт. [5].

В нашем исследовании предполагается отсутствие различий параметров функционирования миокарда между переболевшими в легкой форме и вакцинированными добровольцами, что обусловлено сходством механизмов адаптивного иммунного ответа, вызванного нативной инфекцией и агентами вакцины [14]. Исследование, проведенное в отдаленный период после перенесенного заболевания и / или вакцинации, позволило получить результаты на фоне нормализации показателей, что подтверждается данными о динамическом восстановлении параметров миокарда [6].

Особый интерес представляют выявленные в нашем исследовании половые различия параметров деформации миокарда. У женщин отмечалась тенденция к более высоким абсолютным значениям GLS (медиана –22,8% против –21,2% у мужчин) и MyoGCS (медиана –19,0% против –16,70% у мужчин), в то время как GRS была существенно ниже (77,7 против 97,84%). Эти различия могут отражать различные механизмы адаптации миокарда к перенесенной инфекции SARS-CoV-2, обусловленные в

том числе гендерными особенностями иммунного ответа и гормонального статуса, а также более частым осложнением миокардита у молодых мужчин [7].

Установленные перцентильные распределения референсных значений с учетом половых различий позволяют дифференцированно подходить к интерпретации результатов МРТ-исследования. Полученные данные создают основу для разработки стандартизированных подходов к оценке состояния миокарда у мужчин и женщин молодого возраста и могут служить ориентиром при выявлении отклонений, ассоциированных с перенесенными заболеваниями или медицинскими вмешательствами.

Заключение

Настоящее исследование позволило получить два ключевых результата, имеющих значение для стандартизации магнитно-резонансной оценки миокарда у молодых лиц. Во-первых, продемонстрирована высокая межоператорская согласованность между экспертами с разным опытом работы в области количественного анализа морфофункциональных параметров с использованием вендор-независимого программного обеспечения, что создает основу для стандартизированного подхода к интерпретации данных МРТ сердца у молодых пациентов. При этом лучшая согласованность оценок характерна для параметров EndoGLS и КДО ЛЖ. Во-вторых, установлен комплекс референсных значений для основных объемных, функциональных и деформационных параметров сердца с учетом половой принадлежности в молодой популяции. Полученные диапазоны отражают физиологические вариации, при этом ФВ подтвердила свой статус наиболее стабильного показателя. Однако в нашем исследовании выявлено значительное снижение нижней границы этого показателя, что позволяет предполагать субклиническое снижение сократительной функции у части здоровых молодых людей после перенесенного инфекционного заболевания COVID-19 или после вакцинации от него. Выявленные гендерные различия в параметрах деформации подчеркивают необходимость дифференцированного подхода при интерпретации данных, особенно в диапазоне значений ФВ от 46,5 до 54%. Параллельное повышение нижней границы EndoGLS до 15,9% у мужчин и до 17% у женщин подтверждает наше предположение о наличии структурных изменений в миокарде после пандемии COVID-19. Такие случаи должны трактоваться не как однозначная патология, а как повод

для динамического наблюдения. Данная находка потенциально важна, но требует подтверждения на большей выборке ($n > 40$). Если данный результат воспроизведется, то это может изменить подходы к интерпретации ФВ у молодых пациентов в постпандемический период.

Таким образом, полученные данные могут служить ориентиром при выявлении отклонений, ассоциированных с воспалительными изменениями не только в результате перенесенного COVID-19 и вакцинации, но и других этиологических факторов, в том числе при оценке морфофункциональных изменений при миокардите, являю-

щихся следствием кардиотоксических эффектов химиотерапии у онкологических добровольцев.

Благодарности

Авторы выражают благодарность всему коллективу отделения рентгенодиагностики ОГАУЗ «Томский областной онкологический диспансер» за помощь в организации и проведении исследований, а также сотрудникам НИИ кардиологии Томского НИМЦ за ценные консультации при обсуждении результатов.

Литература / References

- Gupta A., Madhavan M.V., Sehgal K., Nair N., Mahajan S., Sehrawat T.S. et al. Extrapulmonary manifestations of COVID-19. *Nat. Med.* 2020;26(7):1017–1032. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0968-3>
- Hartmann C., Miggiolaro A.F.R.D.S., Motta J.D.S., Baena Carstens L., Busatta Vaz De Paula C., Fagundes Grobe S. et al. The pathogenesis of COVID-19 myocardial injury: an immunohistochemical study of postmortem biopsies. *Front. Immunol.* 2021;12:748417. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.748417>
- Basso C., Leone O., Rizzo S., De Gaspari M., van der Wal A.C., Aubry M.C., et al. Pathological features of COVID-19-associated myocardial injury: a multicentre cardiovascular pathology study. *Eur. Heart J.* 2020;41(39):3827–3835. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa664>
- Ingul C.B., Grimsjo J., Mecinaj A., Trebinjac D., Berger Nossen M., Andrup S. et al. Cardiac dysfunction and arrhythmias 3 months after hospitalization for COVID-19. *J. Am. Heart Assoc.* 2022;11(3): e023473. <https://doi.org/10.1161/JAHA.121.023473>
- Puntmann V.O., Carerj M.L., Wieters I., Fahim M., Arendt C., Hoffmann J. et al. Outcomes of cardiovascular magnetic resonance imaging in patients recently recovered from coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA Cardiol.* 2020;5(11):1265–1273. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.3557>
- Bohnen S., Radunski U.K., Lund G.K., Ojeda F., Looft Y., Senel M. et al. Tissue characterization by T1 and T2 mapping cardiovascular magnetic resonance imaging to monitor myocardial inflammation in healing myocarditis. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2017;18(7):744–751. <https://doi.org/10.1093/ehjci/ehj007>
- Knudsen B., Prasad V. COVID-19 vaccine induced myocarditis in young males: A systematic review. *Eur. J. Clin. Invest.* 2023;53(4): e13947. <https://doi.org/10.1111/eci.13947>
- Daniels C.J., Rajpal S., Greenshields J.T., Rosenthal G.L., Chung E.H., Terrin M. et al. Prevalence of clinical and subclinical myocarditis in competitive athletes with recent SARS-CoV-2 infection: results from the Big Ten COVID-19 cardiac registry. *JAMA Cardiol.* 2021;6(9):1078–1087. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2021.2065>
- Ferreira V.M., Schulz-Menger J., Holmvang G., Kramer C.M., Carbone I., Sechtem U. et al. Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: expert recommendations. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018;72(24):3158–3176. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.09.072>
- He J., Yang W., Wu W., Li S., Yin G., Zhuang B. et al. Early diastolic longitudinal strain rate at MRI and outcomes in heart failure with preserved ejection fraction. *Radiology.* 2021;301(3):582–592. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021210188>
- Negishi K., Negishi T., Hare J.L., Haluska B.A., Plana J.C., Marwick T.H. Independent and incremental value of deformation indices for prediction of trastuzumab-induced cardiotoxicity. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2013;26(5):493–498. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2013.02.008>
- Плохова Е.В., Сорокин А.В., Стаферов А.В., Дундуа Д.П., Агеев Ф.Т. Кардиоонкология, часть 2. Методы диагностики в кардиоонкологии. *Клиническая практика.* 2018;9(1):50–62. <https://doi.org/10.17816/clinpract09150-62>
- Plokhova E.V., Sorokin A.V., Staferov A.V., Dundua D.P., Ageev F.T. Cardio-oncology, part 2. Methods of diagnosis in cardio-oncology. *Journal of Clinical Practice.* 2018;9(1):50–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/clinpract09150-62>
- Messroghli D.R., Moon J.C., Ferreira V.M., Grosse-Wortmann L., He T., Kellman P. et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2* and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2017;19(1):75. <https://doi.org/10.1186/s12968-017-0389-8>
- Salleh M.Z., Norazmi M.N., Deris Z.Z. Immunogenicity mechanism of mRNA vaccines and their limitations in promoting adaptive protection against SARS-CoV-2. *Peer J.* 2022;10:e13083. <https://doi.org/10.7717/peerj.13083>
- Maceira A.M., Prasad S.K., Khan M., Pennell D.J. Normalized left ventricular systolic and diastolic function by steady state free precession cardiovascular magnetic resonance. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2006;8(3):417–426. <https://doi.org/10.1080/10976640600572889>
- Andre F., Steen H., Matheis P., Westkott M., Breuninger K., Sander Y. et al. Age- and gender-related normal left ventricular deformation assessed by cardiovascular magnetic resonance feature tracking. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2015;17:25. <https://doi.org/10.1186/s12968-015-0123-3>
- Peng J., Zhao X., Zhao L., Fan Z., Wang Z., Chen H. et al. Normal values of myocardial deformation assessed by cardiovascular magnetic resonance feature tracking in a healthy Chinese population: a multicenter study. *Front. Physiol.* 2018;9:1181. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01181>
- Rajiah P.S., Kalisz K., Broncano J., Goerne H., Collins J.D., François C.J. et al. Myocardial strain evaluation with cardiovascular MRI: physics, principles, and clinical applications. *Radiographics.* 2022;42(4):968–990. <https://doi.org/10.1148/rq.210174>

Информация о вкладе авторов

Силантьева А.С. – отбор добровольцев для проведения исследования, заполнение базы данных, статистический анализ и интерпретация, написание статьи; Бородин О.Ю. – разработка концепции и дизайна исследования, заполнение базы данных, написание статьи, окончательное утверждение статьи для печати; Спиридович А.Д. – отбор добровольцев для проведения исследования, заполнение базы данных, статистический анализ и интерпретация данных; Усов В.Ю. – руководство научной темой исследования.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information on author contributions

Silant'yeva A.S. – participant recruitment, data entry, statistical analysis and interpretation, and manuscript writing; Borodin O.Yu. – study concept and design, data entry, manuscript writing, and final approval of the manuscript for publication; Spiridovich A.D. – participant recruitment, data entry, and statistical analysis and interpretation; Ussov W.Yu. – scientific supervision of the study.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Сведения об авторах

Силантьева Александра Сергеевна, врач-рентгенолог, отделение рентгенодиагностики, ОГАУЗ «ТООД», Томск, Россия, e-mail: doc@alexsilantieva.ru; <http://orcid.org/0009-0006-4081-3948>.

Бородин Олег Юрьевич, д-р мед. наук, заведующий отделением рентгенодиагностики, ОГАУЗ «ТООД»; профессор кафедры биофизики и функциональной диагностики, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: oyborodin@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-5031-1355>.

Спиридович Александра Дмитриевна, врач функциональной диагностики, ОГАУЗ «Детская больница № 1», Томск, Россия, e-mail: sashawest101@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0002-3166-9180>.

Усов Владимир Юрьевич, д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник, отдел лучевых и инструментальных методов диагностики, НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина, Новосибирск, Россия, e-mail: ussov1962@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-7352-6068>.

Поступила 20.10.2025;
рецензия получена 17.12.2025;
принята к публикации 24.12.2025.

Information about the authors

Alexandra S. Silantieva, Radiologist, Department of Radiology, Tomsk Regional Oncology Dispensary, Tomsk, Russia, e-mail: doc@alexsilantieva.ru; <http://orcid.org/0009-0006-4081-3948>.

Oleg Y. Borodin, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Radiology, Tomsk Regional Oncology Dispensary; Professor, Department of Biophysics and Functional Diagnostics, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: oyborodin@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-5031-1355>.

Alexandra D. Spiridovich, Functional Diagnostics Physician, Children's Hospital No. 1, Tomsk, Russia, e-mail: sashawest101@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0002-3166-9180>.

Wladimir Yu. Ussov, Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief Research Scientist, Department of Radiology and Instrumental Methods of Diagnostics, Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia, e-mail: ussov1962@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-7352-6068>.

Received 20.10.2025;
review received 17.12.2025;
accepted for publication 24.12.2025.