



Сравнительный анализ воспроизводимости морфометрических показателей грудного отдела аорты по данным компьютерно-томографической и магнитно-резонансной ангиографии

Варламова Ю.В., Саушкин В.В., Рюмшина Н.И., Панфилов Д.С., Козлов Б.Н., Сазонова С.И.

Научно-исследовательский институт кардиологии – филиал ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» Российской академии наук, ул. Киевская, 111а, Томск, 634012, Российская Федерация

Варламова Юлия Вячеславовна, к. м. н., врач-радиолог отдела лучевой диагностики НИИ кардиологии – филиала ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» РАН; <https://orcid.org/0000-0002-0193-9453>

Саушкин Виктор Вячеславович, к. м. н., ст. науч. сотр. отдела лучевой диагностики НИИ кардиологии – филиала ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» РАН; <https://orcid.org/0000-0001-5564-3802>

Рюмшина Надежда Игоревна, к. м. н., науч. сотр. отдела лучевой диагностики НИИ кардиологии – филиала ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» РАН; <https://orcid.org/0000-0002-6158-026X>

Панфилов Дмитрий Сергеевич, д. м. н., ст. науч. сотр. отделения сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии – филиала ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» РАН; <https://orcid.org/0000-0003-2201-350X>

Козлов Борис Николаевич, д. м. н., заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии – филиала ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» РАН; <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

Сазонова Светлана Ивановна, д. м. н., вед. науч. сотр. отдела лучевой диагностики НИИ кардиологии – филиала ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» РАН; <https://orcid.org/0000-0003-2799-3260>

Резюме

Цель: сравнить внутриоператорскую и межоператорскую воспроизводимость морфометрических показателей грудной аорты (ГА), вычисленных по результатам мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Материал и методы. В проспективное исследование включены 20 пациентов с дилатацией восходящей аорты (ВАо) (≥ 45 мм). Всем больным выполнена МСКТ- и МРТ-ангиография с электрокардиографической синхронизацией. На различных уровнях ГА в систолу и диастолу по внутреннему контуру сосуда определяли его средний диаметр (D_{cp}) и площадь поперечного сечения (ППС). Все измерения выполнялись двумя врачами-рентгенологами. Каждый проводил измерения два раза с интервалом не менее 1 мес. Определяли воспроизводимость повторных измерений с использованием коэффициента внутриклассовой корреляции.

Результаты. При анализе систолического кадра выявлены значимые различия между методами при измерении D_{cp} (МРТ: 42,5 (41,0–47,8) мм; МСКТ: 37,7 (34,7–40,3) мм; $p = 0,003$) и ППС на уровне синотубулярного соединения (МРТ: 14,8 (12,7–17,9) cm^2 ; МСКТ: 11,4 (10,3–13,3) cm^2 ; $p = 0,009$), ППС ВАо (МРТ: 17,6 (14,6–20,8) cm^2 ; МСКТ: 19,6 (16,7–21,5) cm^2 ; $p = 0,035$) и D_{cp} проксимальнее левой подключичной артерии (ЛПКА) (МРТ: 31,5 (31,0–34,0) мм; МСКТ: 31,7 (27,3–32,9) мм; $p = 0,041$). Для диастолического кадра достоверные различия между методами наблюдали при измерении ППС ВАо (МРТ: 17,0 (14,5–19,7) cm^2 ; МСКТ: 19,7 (15,3–21,8) cm^2 ; $p = 0,025$), D_{cp} (МРТ: 30,5 (29,3–32,8) мм; МСКТ: 29,8 (27,1–31,3) мм; $p = 0,05$) и ППС проксимальнее ЛПКА (МРТ: 7,5 (6,9–7,9) cm^2 ; МСКТ: 7,4 (5,9–7,8) cm^2 ; $p = 0,007$), а также ППС на уровне левого предсердия (МРТ: 4,9 (4,2–5,0) cm^2 ; МСКТ: 5,1 (4,67–5,5) cm^2 ; $p = 0,042$). По результатам анализа для МСКТ-ангиографии была получена хорошая внутри- и межоператорская воспроизводимости измерений на всех уровнях ГА. По данным МРТ-ангиографии отмечалась сильная внутри- и межоператорская вариабельность в определении D_{cp} и ППС на уровнях дуги и нисходящей аорты.

Заключение. Площадь поперечного сечения аорты показала наилучшую внутри- и межоператорскую воспроизводимость и сопоставимость измерений между МСКТ- и МРТ-ангиографией.

Ключевые слова: грудная аорта; аневризма; измерение аорты; мультиспиральная компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; межоператорская воспроизводимость; внутриоператорская воспроизводимость.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-15-00160.

Для цитирования: Варламова Ю.В., Саушкин В.В., Рюмшина Н.И., Панфилов Д.С., Козлов Б.Н., Сазонова С.И. Сравнительный анализ воспроизводимости морфометрических показателей грудного отдела аорты по данным компьютерно-томографической и магнитно-резонансной ангиографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(3): 192–207. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-3-192-207>

Для корреспонденции: Варламова Юлия Вячеславовна, E-mail: jul13@bk.ru

Статья поступила 22.05.2023

После доработки 15.09.2023

Принята к печати 16.09.2023

Comparative Reproducibility Analysis of Thoracic Aorta Morphometric Parameters According to Computed Tomography and Magnetic Resonance Angiography

Yuliya V. Varlamova, Viktor V. Saushkin, Nadezhda I. Ryumshina, Dmitriy S. Panfilov, Boris N. Kozlov, Svetlana I. Sazonova

Cardiology Research Institute – branch of Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, ul. Kievskaya, 111a, Tomsk, 634012, Russian Federation

Yuliya V. Varlamova, Cand. Med. Sc., Radiologist, Radiology Department, Cardiology Research Institute – branch of Tomsk National Research Medical Center, RAS; <https://orcid.org/0000-0002-0193-9453>

Viktor V. Saushkin, Cand. Med. Sc., Senior Researcher, Radiology Department, Cardiology Research Institute – branch of Tomsk National Research Medical Center, RAS; <https://orcid.org/0000-0001-5564-3802>

Nadezhda I. Ryumshina, Cand. Med. Sc., Researcher, Radiology Department, Cardiology Research Institute – branch of Tomsk National Research Medical Center, RAS; <https://orcid.org/0000-0002-6158-026X>

Dmitriy S. Panfilov, Dr. Med. Sc., Senior Researcher, Cardiovascular Surgery Department, Cardiology Research Institute – branch of Tomsk National Research Medical Center, RAS; <https://orcid.org/0000-0003-2201-350X>

Boris N. Kozlov, Dr. Med. Sc., Head of Cardiovascular Surgery Department, Cardiology Research Institute – branch of Tomsk National Research Medical Center, RAS; <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

Svetlana I. Sazonova, Dr. Med. Sc., Leading Researcher, Radiology Department, Cardiology Research Institute – branch of Tomsk National Research Medical Center, RAS; <https://orcid.org/0000-0003-2799-3260>

Abstract

Objective: to compare intra- and inter-operator reproducibility of thoracic aorta (ThAo) morphometric parameters, calculated by multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI).

Material and methods. The prospective study included 20 patients with ascending aorta (AAo) dilatation (≥ 45 mm). All patients underwent MSCT- and MRI-angiography in electrocardiogram-gated mode. Mean diameter (D_{mean}) and cross-sectional area (CSA) were measured at different ThAo levels in the systole and diastole along the inner contour of the vessel. All measurements were performed by two radiologists. Each of them took measurements twice at an interval of at least 1 month. The reproducibility of repeated measurements was studied using intraclass correlation coefficient.

Results. The analysis of the systolic frame revealed significant differences between the methods for measuring D_{mean} (MRI: 42.5 (41.0–47.8) mm; MSCT: 37.7 (34.7–40.3) mm; $p = 0.003$) and CSA at the level of the sinotubular junction (MRI: 14.8 (12.7–17.9) cm^2 ; MSCT: 11.4 (10.3–13.3) cm^2 ; $p = 0.009$), AAo CSA

(MRI: 17.6 (14.6–20.8) cm²; MSCT: 19.6 (16.7–21.5) cm²; p = 0.035) and D_{mean} at the level proximal to left subclavian artery (LSA) (MRI: 31.5 (31.0–34.0) mm; MSCT: 31.7 (27.3–32.9) mm; p = 0.041). For the diastolic frame, significant differences between the methods were observed when measuring AAO CSA (MRI: 17.0 (14.5–19.7) cm²; MSCT: 19.7 (15.3–21.8) cm²; p = 0.025), D_{mean} (MRI: 30.5 (29.3–32.8) mm; MSCT: 29.8 (27.1–31.3) mm; p = 0.05) and CSA at the level proximal to LSA (MRI: 7.5 (6.9–7.9) cm²; MSCT: 7.4 (5.9–7.8) cm²; p = 0.007), as well as CSA at the left atrium level (MRI: 4.9 (4.2–5.0) cm²; MSCT: 5.1 (4.67–5.5) cm²; p = 0.042). For MSCT-angiography, good intra- and inter-operator reproducibility of measurements at all ThAo levels was obtained. For MRI-angiography, there was a strong intra- and inter-operator variability in determining D_{mean} and CSA at the levels of aortic arch and descending aorta.

Conclusion. Aortic cross-sectional area showed the best intra- and inter-operator reproducibility and comparability of measurements between MSCT- and MRI-angiography.

Keywords: thoracic aorta; aneurysm; aortic measurement; multislice computed tomography; magnetic resonance imaging; inter-operator reproducibility; intra-operator reproducibility.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study was supported by Russian Science Foundation, Grant No. 21-15-00160.

For citation: Varlamova YuV, Saushkin VV, Rymshina NI, Panfilov DS, Kozlov BN, Sazonova SI. Comparative reproducibility analysis of thoracic aorta morphometric parameters according to computed tomography and magnetic resonance angiography. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(3): 192–207 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-3-192-207>

For corresponding: Yuliya V. Varlamova, E-mail: jul13@bk.ru

Received May 22, 2023

Revised September 15, 2023 Accepted September 16, 2023

Введение / Introduction

Аневризма грудной аорты (АГА) является потенциально смертельным заболеванием, которое в большинстве случаев протекает бессимптомно, являясь случайной находкой при проведении визуализирующих методов исследования, поэтому часто в литературе его именуют «тихим убийцей». Более 60% случаев патологического расширения приходится на восходящий отдел сосуда и дугу. Разрывы и расслоения аорты, которые становятся причиной 1–2% всех смертей в развитых странах, связаны с естественным течением заболевания [1]. Чтобы избежать катастрофического события, необходимо заменить пораженный участок артерии искусственным сосудистым протезом.

Основные решения, касающиеся тактики лечения бессимптомных АГА, принимаются в зависимости от их размера. На сегодняшний день абсолютным показанием для хирургического вмешательства при АГА независимо от этиологии считают диаметр сосуда 55 мм и более [2]. Однако для пациентов с классическими (негенетическими) вариантами АГА и дополнительными факторами риска, такими как семейный анамнез, артериальная гипертензия, коарктация аорты, увеличение диаметра аорты более 3 мм в год (по данным повторных исследований с использованием одинаковых методов визуализации на том же уровне аорты, с пошаговым сравнением и подтверждением другим методом), возраст, площадь поверхности тела, сопутствующие заболевания, бicuspidальный аортальный клапан, может рассматриваться более низкий порог максимального диаметра сосуда (менее 50 мм) [2].

В настоящее время широкое внедрение визуализирующих методов исследования позволяет своевременно диагностировать АГА до развития фатальных осложнений [3]. И здесь без сомнения «пальма первенства» принадлежит методам лучевой диагностики, которые всегда занимали приоритетные позиции в определении характера поражения аорты.

Следует отметить, что ни один из визуализирующих методов не имеет идеального разрешения и получение четкого изображения стенки аорты зависит от ряда факторов: технических характеристик используемого оборудования, массы тела пациента, эффективности синхронизации с электрокардиограммой (ЭКГ). [4]. Кроме того, существует проблема значительной межоператорской и внутриоператорской вариабельности при измерении диаметра одного и того же сегмента аорты [4]. Поэтому остается актуальным поиск оптимального морфометрического показателя, который мог бы использоваться в качестве ориентира (маркера) для стратификации риска и планирования хирургического лечения при дилатации/аневризме грудного отдела аорты [5, 6].

Цель – сравнить внутриоператорскую и межоператорскую воспроизводимость морфометрических показателей грудной аорты, вычисленных по результатам мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Материал и методы / Material and methods

Исследуемая популяция

В проспективное исследование были включены 20 пациентов (средний возраст 61±8 лет, 75%

мужчин) с дилатацией восходящего отдела аорты (более 45 мм). Критериями исключения из исследования явились: синдромные заболевания аорты (синдромы Тернера, Марфана, Элерса–Данло, Лойса–Дитца, другие генетические аномалии), артериальная гипертензия (резистентная к медикаментозной терапии), перенесенный в анамнезе инфаркт миокарда и/или инсульт, стеноз/недостаточность аортального клапана, врожденные пороки сердца (коарктация аорты, тетрада Фалло, открытый артериальный проток), нарушения ритма сердца, дилатация левого желудочка (ЛЖ) (увеличение кардиоторакального индекса до величины более 0,55 или внутреннего диаметра ЛЖ до величины более 2,7 см/м² площади поверхности тела), сниженная глобальная сократительная функция ЛЖ (фракция выброса менее 40%), предшествующие операции на сердце, наличие аллергических реакций на йод, сниженная скорость клубочковой фильтрации (30 мл/мин/1,73 м² и ниже), а также отказ от участия в исследовании.

Все пациенты прошли полное клинико-инструментальное обследование, включавшее сбор анамнеза, клиническое наблюдение, общеклиническое и биохимическое исследование крови, регистрацию ЭКГ в 12 отведениях, суточное мониторирование ЭКГ, эхокардиографию. Кроме того, всем больным были выполнены МСКТ- и МРТ-ангиография грудного отдела аорты в ЭКГ-синхронизированном режиме. Результаты морфометрии аорты в систолу и диастолу по данным обоих методов сравнивали статистически попарно для каждого пациента. Временной интервал между исследованиями не превышал 1 дня. Перед проведением визуализирующих исследований в обязательном порядке измеряли системное артериальное давление манжетным сфигмоманометром на плечевой артерии.

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом Научно-исследовательского института кардиологии – филиала ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр» РАН (протокол № 213 от 12 мая 2021 г.) и проведено в соответствии с этическими нормами, изложенными в Хельсинкской декларации пересмотра 2008 г.

МСКТ-ангиография грудного отдела аорты

Запись исследования осуществляли на кардиологическом 64-срезовом гибридном томографе Discovery NM/CT 570C (GE Healthcare, США) со следующими параметрами сканирования: ширина коллимации детектора 0,625 мм, охват детектора 40 мм, толщина среза 0,625 мм, время вращения трубки 0,35 с, шаг сканирования (pitch) 0,16–0,2 в зависимости от частоты сер-

дечных сокращений (ЧСС). Значение напряжения рентгеновской трубки 100 кВ или 120 кВ определяли в зависимости от массы тела пациента и индекса массы тела (ИМТ) ≤ 30 кг/м² и > 30 кг/м² соответственно. Сила тока в трубке варьировала от 400 мА до 700 мА с модуляцией дозы по ЭКГ-сигналу, снижающей ток в трубке до 20% (максимальные значения силы тока между 80–20% фазами интервала R–R).

Использовали ретроспективную синхронизацию с ЭКГ, при которой сканирование выполняли во время всего сердечного цикла, что позволило выбрать и реконструировать наиболее качественную серию изображений, соответствующих конечной систолической (30–40%) и конечной диастолической (80–90%) фазам сердечного цикла. Изображения были реформатированы с помощью стандартного алгоритма с интервалом 10% на протяжении всего сердечного цикла с толщиной среза 0,625 мм. Применение этого протокола позволило проводить исследование со средней дозой облучения около $13,0 \pm 1,7$ мЗв.

Обработку полученных изображений с оценкой количественных параметров, а также построение мультипланарных и 3D-реконструкций выполняли на рабочей станции Advantage workstation 4.7, Volume Share 7 (GE Healthcare, США).

Морфометрический анализ грудной аорты по данным МСКТ

Качество полученных изображений оценивали субъективно по трехбалльной шкале: 1 балл – хорошее качество (отсутствие артефактов и нормальное контрастное усиление), 2 балла – удовлетворительное качество (единичные артефакты или контрастное усиление менее 200 HU), 3 балла – низкое качество (множественные артефакты и контрастное усиление менее 200 HU). Перед проведением морфометрического анализа выбирали оптимальные конечную систолическую (30–40%) и конечную диастолическую (80–90%) фазы. Далее проводили измерения аорты на различных уровнях (рис. 1) для двух выбранных фаз сердечного цикла. В список двумерных измерений для каждого сегмента восходящей аорты входили: максимальный диаметр, минимальный диаметр, средний диаметр (среднеарифметическое наибольшего и наименьшего значений диаметров, измеренных в одном поперечном сечении, перпендикулярном к осевой линии сосуда) и площадь поперечного сечения (рассчитывается автоматически после построения контура просвета аорты). Все измерения выполняли на основании заранее заданных анатомических ориентиров перпендикулярно осевой линии аорты без учета сосудистой стенки (по внутреннему контуру).

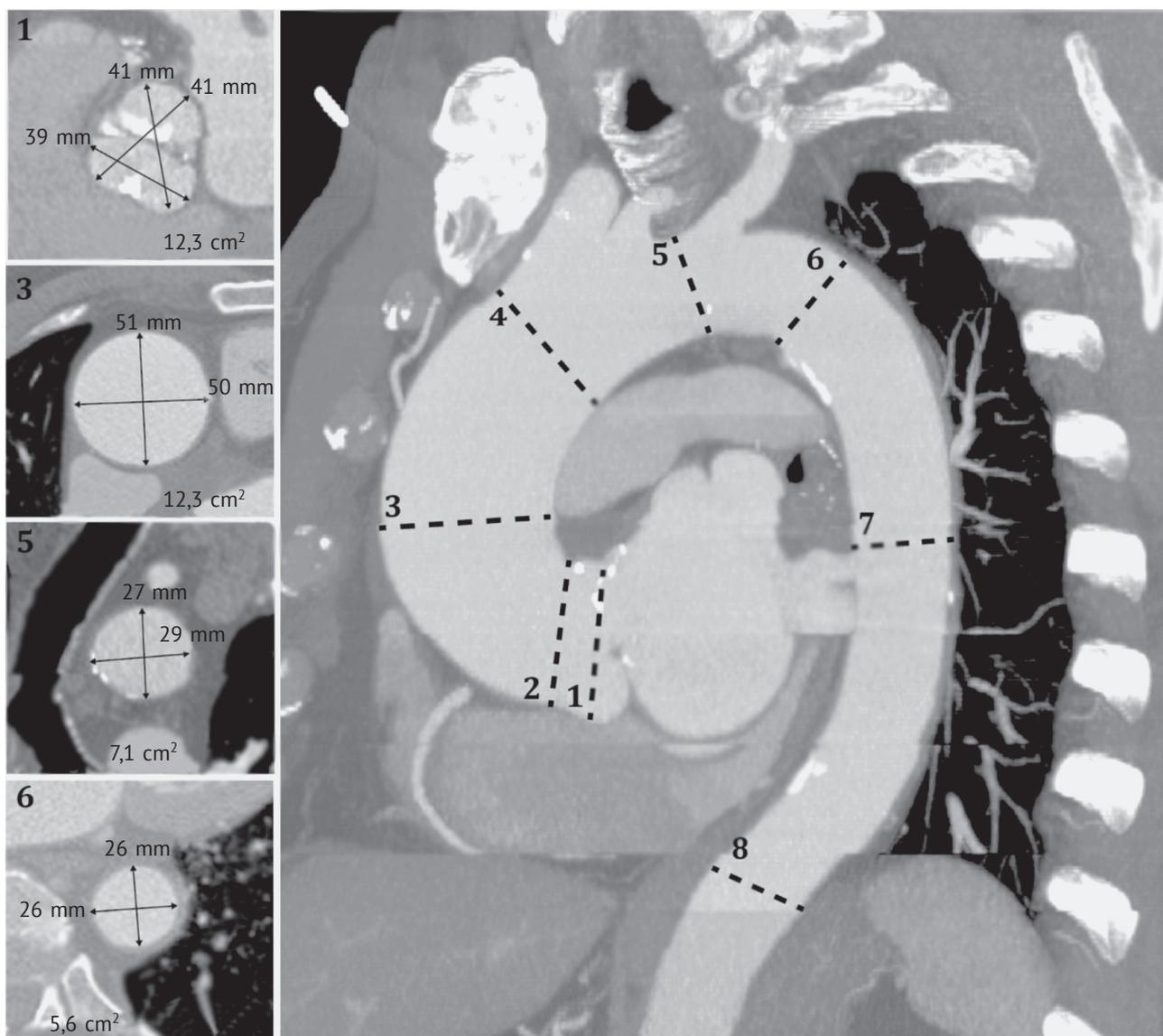


Рис. 1. Морфометрическая обработка изображений, полученных при мультиспиральной компьютерной томографии грудной аорты. Представлена проекция максимальной интенсивности с указанием уровней морфометрического измерения грудной аорты. Дополнительно приведены мультипланарные реконструкции на уровнях синусов Вальсальвы (1), восходящей аорты (3), дуги аорты (проксимальнее левой подключичной артерии) (5), начального отдела нисходящей аорты (дистальнее левой подключичной артерии) (6) с указанием диаметров и площади поперечного сечения

Fig. 1. Morphometric processing of images obtained by multislice computed tomography of the thoracic aorta. A projection of the maximum intensity is presented, indicating the levels of morphometric measurement of the thoracic aorta. Additionally, multiplanar reconstructions are given at the levels of Valsalva sinuses (1), ascending aorta (3), aortic arch (proximal to the left subclavian artery) (5), beginning of the descending aorta (distal to the left subclavian artery) (6) indicating the diameters and cross-sectional area

MPT-ангиография грудного отдела аорты

Бесконтрастное MPT-исследование проводили на томографе Vantage Titan (Toshiba Medical Systems, Япония) мощностью 1,5 Тл в ЭКГ-синхронизированном режиме с задержкой дыхания на высоте выдоха. Быстрые спин-эхо (TSE) изображения, взвешенные по T1 (trig) в аксиальной проекции были получены с использованием следующих параметров: TR 1874 мс, TE 32,0 мс, FOV 40,0×33,0 см, матрица 256×160, толщина среза 6–7 мм, расстояние

между срезами 1 мм. Бесконтрастную MPT-аортографию выполняли с помощью время-пролетной последовательности (TOF), параметры следующие: TR 5,2 мс, TE 2,6 мс, FOV 40,0×39,0 см, матрица 256×256, толщина среза 2 мм, расстояние между срезами 0,1 мм. Косоагитальные cine-срезы (GRE-SSFP) выставляли на уровнях интереса перпендикулярно оси аорты по следующим параметрам сканирования: 13–16 фаз на сердечный цикл, TR 3,7 мс, TE 1,9 мс, FOV 33×35 см, матрица 128×240,

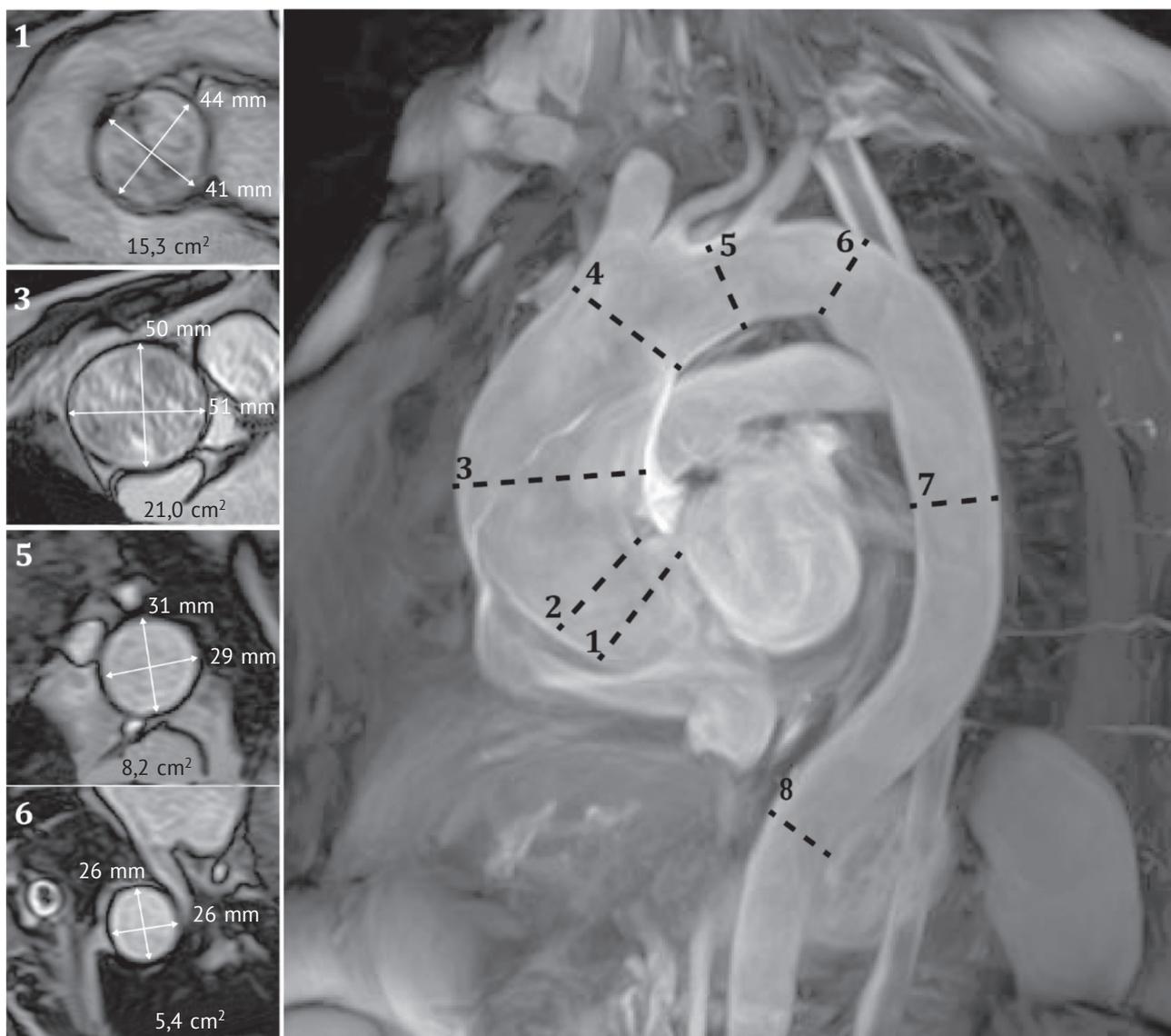


Рис. 2. Морфометрическая обработка бесконтрастных изображений, полученных при магнитно-резонансной томографии грудной аорты. Представлена проекция максимальной интенсивности с указанием уровней морфометрического измерения грудной аорты. Дополнительно приведены мультипланарные реконструкции на уровнях синусов Вальсальвы (1), восходящей аорты (3), дуги аорты (проксимальнее левой подключичной артерии) (5), начального отдела нисходящей аорты (дистальнее левой подключичной артерии) (6) с указанием диаметров и площади поперечного сечения

Fig. 2. Morphometric processing of contrast-free images obtained by magnetic resonance imaging of the thoracic aorta. A projection of the maximum intensity is presented, indicating the levels of morphometric measurement of the thoracic aorta. Additionally, multiplanar reconstructions are given at the levels of Valsalva sinuses (1), ascending aorta (3), aortic arch (proximal to the left subclavian artery) (5), beginning of the descending aorta (distal to the left subclavian artery) (6) indicating the diameters and cross-sectional area

толщина среза 8 мм, расстояние между срезами 2 мм, задержка дыхания по 11–15 с в зависимости от ЧСС. Длительность исследования составляла в среднем около 30 мин.

Морфометрический анализ грудной аорты по данным МРТ

Cine-изображения SSFP использовали для измерений аорты в конце систолического и диастолического кадров. Два диаметра (передне-задний

и латеро-латеральный) измеряли между контуром внутренней стенки аорты на уровнях интереса, затем рассчитывали средний диаметр просвета аорты (рис. 2). Площадь поперечного сечения аорты измеряли ручной обводкой внутреннего контура ее стенки с последующим автоматическим вычислением значения. Анализ МРТ-изображений проводили с помощью программных пакетов для пост-процессинговой обработки eFilm 3.4 (MergeHealth, 2010) и Centricity Universal Viewer v.6.0 (GE, 2020).

Анализ воспроизводимости результатов

Все измерения выполнялись двумя опытными врачами-рентгенологами на основании заранее заданных анатомических ориентиров перпендикулярно осевой линии аорты без учета сосудистой стенки. Каждый рентгенолог независимо оценивал результаты МСКТ и МРТ грудного отдела аорты в случайном порядке в соответствии с протоколом, установленным для этих исследований. Данные анамнеза и результаты ранее проведенных исследований экспертам не сообщались. Чтобы оценить воспроизводимость полученных результатов, каждый рентгенолог в случайном порядке повторно анализировал все МСКТ- и МРТ-изображения с интервалом не менее 1 мес.

Статистическая обработка

Статистический анализ материалов проведен с использованием пакета прикладных программ SPSS 26.0 for Windows (SPSS Inc., США), Jamovi 2.18 и GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software, США). Непрерывные переменные, подчиняющиеся нормальному закону распределения, представлены в виде средних значений и стандартных отклонений ($M \pm SD$), не подчиняющиеся нормальному закону распределения – в виде медианы и квартилей ($Me [Q1; Q3]$). Категориальные переменные отражены в числовых значениях (процентах). Проверку на соответствие выборок нормальному закону распределения проводили согласно критерию Шапиро–Уилка. Для сравнения разницы между систолической и диастолической фазами по

каждому параметру использовали парный t-тест или знаковый ранговый тест Уилкоксона. Внутри- и межоператорское согласие оценивали по всем показателям с использованием коэффициента внутрикласовой корреляции (intra-class correlation coefficient, ICC), где $ICC > 0,80$ указывал на хорошую воспроизводимость. Средняя разность измерений грудной аорты с помощью МСКТ и МРТ и пределы согласованности были оценены с помощью анализа Блэнда–Альтмана. Изменения считали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты / Results

Перед проведением МСКТ и МРТ грудного отдела аорты у всех пациентов был зарегистрирован синусовый ритм и достигнуты целевые уровни систолического и диастолического артериального давления. Все исследования имели диагностическое качество изображения и ни одно из них не было исключено из оценки.

Клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

Сравнение результатов морфометрии грудного отдела аорты по данным МСКТ и МРТ

При анализе систолического кадра выявлены значимые различия между методами при измерении среднего диаметра (МРТ: 42,5 (41,0–47,8) мм; МСКТ: 37,7 (34,7–40,3) мм; $p=0,003$) и площади поперечного сечения аорты на уровне синотубулярного соединения (МРТ: 14,8 (12,7–17,9) cm^2 ;

Таблица 1

Table 1

Основные клинические характеристики исследуемой группы пациентов**The main clinical characteristics of the studied group of patients**

Параметр / Parameter	Значение / Value
Возраст, лет / Age, years	61±8
Мужской/женский пол, n (%) / Male/female, n (%)	15/5 (75/25)
Площадь поверхности тела, m^2 / Body surface area, m^2	2,02±0,15
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mm Hg	134±9
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mm Hg	87±5
Пульсовое давление, мм рт. ст. / Pulse pressure, mm Hg	47±8
Артериальная гипертензия, n (%) / Arterial hypertension, n (%)	8 (40)
Атеросклероз аорты*, n (%) / Aortic atherosclerosis*, n (%)	16 (80)
Сахарный диабет, n (%) / Diabetes mellitus, n (%)	0 (0)
Дислипидемия, n (%) / Dyslipidemia, n (%)	13 (65)
Трехстворчатый аортальный клапан, n (%) / Tricuspid aortic valve, n (%)	18 (90)
Аномалии отхождения сосудов дуги аорты*, n (%) / Anomalies of the aortic arch vascular outflow*, n (%)	6 (30)

* По результатам МСКТ.

* According to MSCT results.

Таблица 2
Table 2Сравнение результатов измерений аорты при МСКТ-и МРТ-ангиографии
Comparison of aortic measurements with MSCT and MRI angiography

Уровень измерения / Measurement level	Тип измерения / Measurement type	Систола / Systole			Диастола / Diastole			Δ систола-диастола / Δ systole-diastole		
		МРТ / MRI	МСКТ / MSCT	p	МРТ / MRI	МСКТ / MSCT	p	МРТ / MRI	МСКТ / MSCT	
Синусы Вальсальвы / Valsalva sinuses	Диаметр / Diameter	40 (35,0–44,0)	40,1 (36,8–42,1)	0,345	39,0 (36,0–40,0)	39,9 (36,5–41,1)	0,442	2,0±2,6	0,7±1,1	0,153
	Площадь / Area	13,1 (10,2–14,9)	12,7 (11,0–14,5)	0,635	11,9 (11,0–12,9)	12,3 (9,9–13,5)	0,340	1,1±1,7	0,5±1,8	0,358
Синотубулярное соединение / Sinotubular junction	Диаметр / Diameter	42,5 (41,0–47,8)	37,7 (34,7–40,3)	0,003*	41,0 (38,5–42,8)	36,2 (33,6–39,6)	0,091	2,0±1,7	0,9±1,3	0,017*
	Площадь / Area	14,8 (12,7–17,9)	11,4 (10,3–13,3)	0,009*	13,2 (11,8–14,2)	10,7 (9,9–12,2)	0,081	1,1±2,2	0,5±0,9	0,135
ВАо на уровне бифуркации ЛС / AAo at the level of PT bifurcation	Диаметр / Diameter	48,0 (45,0–51,0)	50,1 (45,9–51,9)	0,135	46,5 (43,3–50,8)	49,7 (43,9–51,9)	0,081	1,0±1,4	0,9±1,5	0,221
	Площадь / Area	17,6 (14,6–20,8)	19,6 (16,7–21,5)	0,035*	17,0 (14,5–19,7)	19,7 (15,3–21,8)	0,025*	0,5±1,0	0,5±1,0	0,808
Аорта на уровне БЦС / Aorta at the BCT level	Диаметр / Diameter	39,0 (36,0–42,0)	39,9 (35,6–41,3)	0,153	39,0 (33,3–40,8)	39,0 (33,7–40,1)	0,177	2,0±1,2	1,1±0,9	0,167
	Площадь / Area	11,8 (9,4–13,4)	12,7 (9,9–13,7)	0,903	11,5 (8,8–12,9)	12,1 (9,1–12,8)	0,217	1,0±0,7	0,6±0,5	0,194
Аорта проксимальнее ЛПКА / Aorta proximal to LSCA	Диаметр / Diameter	31,5 (31,0–34,0)	31,7 (27,3–32,9)	0,041*	30,5 (29,3–32,8)	29,8 (27,1–31,3)	0,050*	1,0±1,5	1,1±0,6	0,363
	Площадь / Area	8,0 (7,2–8,9)	7,7 (6,3–8,7)	0,583	7,5 (6,9–7,9)	7,4 (5,9–7,8)	0,007*	0,4±0,8	0,5±0,5	0,572
Аорта дистальнее ЛПКА / Aorta distal to LSCA	Диаметр / Diameter	29,0 (28,0–30,0)	27,7 (25,9–30,1)	0,070	28,0 (27,0–29,0)	27,8 (24,9–28,6)	0,129	1,0±0,8	0,9±0,7	0,496
	Площадь / Area	6,4 (6,0–7,1)	6,2 (5,5–7,1)	0,570	6,3 (5,7–6,9)	6,2 (4,9–6,7)	0,359	–4,5±2,8	0,4±0,8	0,005*
Аорта на уровне ЛП / Aorta at the LA level	Диаметр / Diameter	26,0 (26,0–27,0)	25,9 (25,0–26,8)	0,777	25,0 (22,5–25,8)	25,1 (24,2–25,9)	0,132	1,5±5,3	0,8±0,7	0,020*
	Площадь / Area	5,4 (4,6–5,6)	5,5 (5,0–5,8)	0,104	4,9 (4,2–5,0)	5,1 (4,67–5,5)	0,042*	0,6±0,4	0,4±0,3	0,173
Аорта на уровне диафрагмы / Aorta at the diaphragm level	Диаметр / Diameter	25,0 (24,3–26,0)	24,8 (23,4–26,6)	0,433	23,0 (20,0–24,8)	23,9 (22,6–25,3)	0,119	2,0±1,0	0,9±1,3	0,030*
	Площадь / Area	4,8 (4,1–5,2)	4,9 (4,4–5,6)	0,069	4,2 (4,0–5,6)	4,8 (4,0–5,2)	0,903	0,3±15,3	0,4±0,5	0,903

Примечание. МРТ – магнитно-резонансная томография; МСКТ – мультипланарная компьютерная томография; ВАо – восходящая аорта; ЛС – легочный ствол; БЦС – брахиоцефальный ствол; ЛПКА – левая подключичная артерия; ЛП – левое предсердие; Δ систола-диастола – систола-диастолическая разница.

* Достоверное различие с уровнем значимости <0,05.

Note. MRI – magnetic resonance imaging; MSCT – multislice computed tomography; AAo – ascending aorta; PT – pulmonary trunk; BCT – brachiocephalic trunk; LSCA – left subclavian artery; LA – left atrium; Δ systole-diastole – systolic-diastolic difference.

* Significant difference with significance level <0.05.

МСКТ: 11,4 (10,3–13,3) см²; $p = 0,009$), площади поперечного сечения восходящей аорты на уровне бифуркации легочного ствола (МРТ: 17,6 (14,6–20,8) см²; МСКТ: 19,6 (16,7–21,5) см²; $p = 0,035$) и среднего диаметра аорты проксимальнее левой подключичной артерии (МРТ: 31,5 (31,0–34,0) мм; МСКТ: 31,7 (27,3–32,9) мм; $p = 0,041$) (табл. 2).

Для диастолического кадра статистически значимое различие между методами наблюдали при измерении площади поперечного сечения восходящей аорты на уровне бифуркации легочного ствола (МРТ: 17,0 (14,5–19,7) см²; МСКТ: 19,7 (15,3–21,8) см²; $p = 0,025$), среднего диаметра (МРТ: 30,5 (29,3–32,8) мм; МСКТ: 29,8 (27,1–31,3) мм; $p = 0,05$) и площади поперечного сечения аорты проксимальнее левой подключичной артерии (МРТ: 7,5 (6,9–7,9) см²; МСКТ: 7,4 (5,9–7,8) см²; $p = 0,007$), а также площади поперечного сечения нисходящей аорты на уровне левого предсердия

(МРТ: 4,9 (4,2–5,0) см²; МСКТ: 5,1 (4,67–5,5) см²; $p = 0,042$) (см. табл. 2).

После проведения сравнительного анализа Блэнда–Альтмана оказалось, что МРТ-ангиография по сравнению с МСКТ-ангиографией завышает значение систолического диаметра аорты на уровнях синусов Вальсальвы, дуги и начального отдела нисходящей аорты на 1,06 мм, 1,14 мм и 1,42 мм соответственно, а также занижает значение данного показателя на уровне восходящей аорты на 1,7 мм. Кроме того, МРТ-ангиография по сравнению с МСКТ-ангиографией завышает значение площади поперечного сечения аорты в систолу на уровнях синусов Вальсальвы и дуги на 0,18 см² и 0,28 см² соответственно, а также занижает значение показателя на уровнях восходящей аорты и начального отдела нисходящей аорты на 2,53 см² и 0,17 см² соответственно (рис. 3).

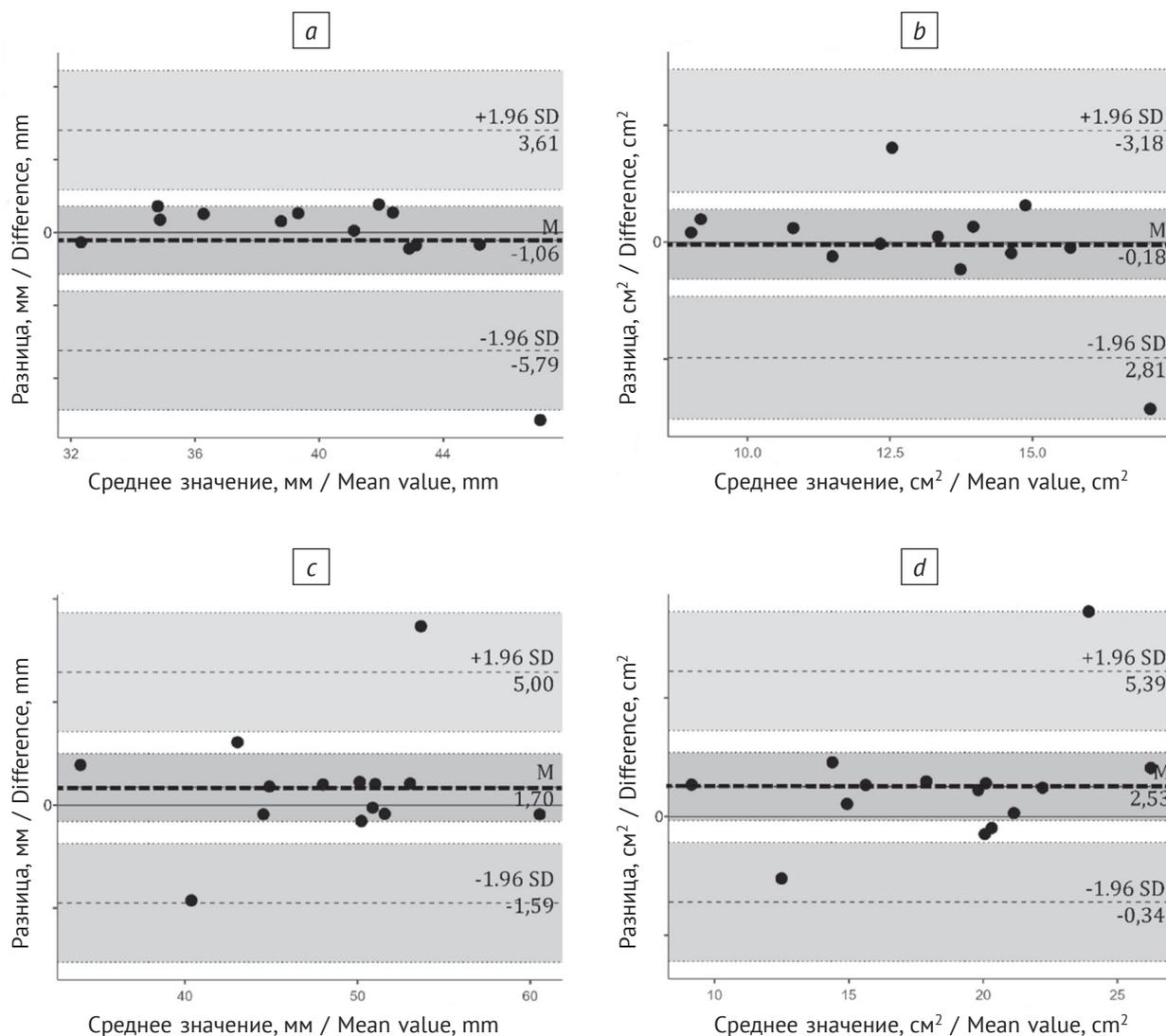


Рис. 3 (начало). Анализ Блэнда–Альтмана (окончание на с. 232)

Fig. 3 (beginning). Bland–Altman analysis (ended on p. 232)

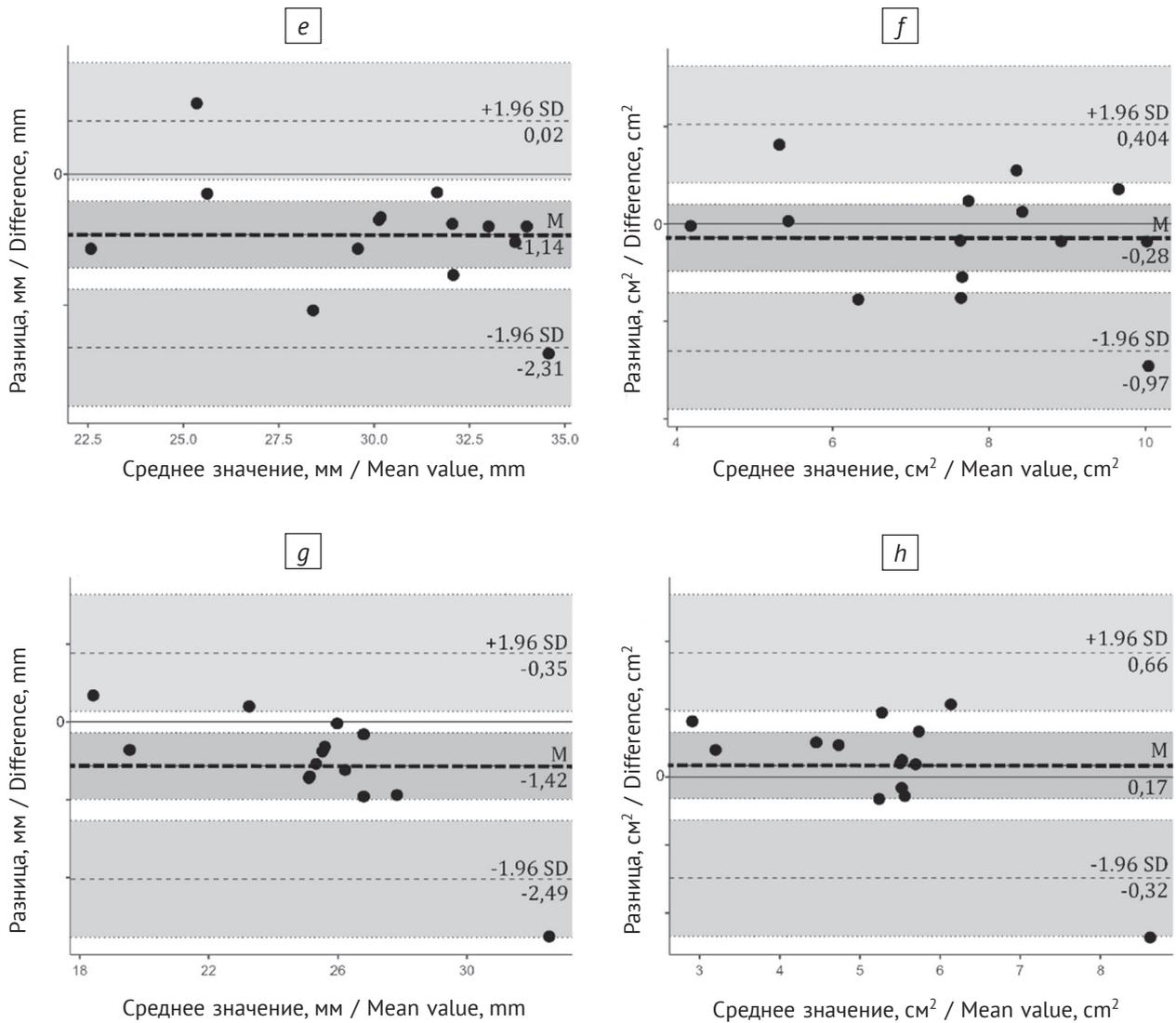


Рис. 3 (окончание). Анализ Блэнда–Альтмана. Сопоставление МСКТ- и МРТ-ангиографии в измерении конечных систолических диаметров и площадей поперечного сечения аорты на уровне синусов Вальсальвы (а, б), восходящей аорты (с, д), дуги аорты (проксимальнее левой подключичной артерии) (е, ф), начального отдела нисходящей аорты (дистальнее левой подключичной артерии) (г, h). Утолщенные штриховые горизонтальные линии обозначают среднее смещение, тонкие штриховые горизонтальные линии обозначают ±95% предел согласия (средняя разница ±1,96 стандартного отклонения разницы)

Fig. 3 (end). Bland–Altman analysis. Comparison of MSCT and MRI angiography in measuring the end-systolic diameters and cross-sectional areas of the aorta at the level of Valsalva sinuses (a, b), ascending aorta (c, d), aortic arch (proximal to the left subclavian artery) (e, f), the beginning of the descending aorta (distal to the left subclavian artery) (g, h). Thickened horizontal dashed lines indicate the average offset, thin horizontal dashed lines indicate ±95% limit of agreement (average difference ±1.96 standard deviation of the difference)

По результатам анализа наблюдали значимые различия между МСКТ и МРТ при сравнении систолидиастолической разницы (Δ систола-диастола) среднего диаметра аорты на уровне синотубулярного соединения (МРТ: $2,0 \pm 1,7$ мм; МСКТ: $0,9 \pm 1,3$ мм; $p = 0,017$), левого предсердия (МРТ: $1,5 \pm 5,3$ мм; МСКТ: $0,8 \pm 0,7$ мм; $p = 0,02$) и диафраг-

мы (МРТ: $2,0 \pm 1,0$ мм; МСКТ: $0,9 \pm 1,3$ мм; $p = 0,03$). Достоверные различия между МСКТ и МРТ при сравнении Δ систола-диастола площади поперечного сечения аорты были выявлены только для уровня измерения дистальнее левой подключичной артерии (МРТ: $-4,5 \pm 2,8$ см²; МСКТ: $0,4 \pm 0,8$ см²; $p = 0,005$) (рис. 4).

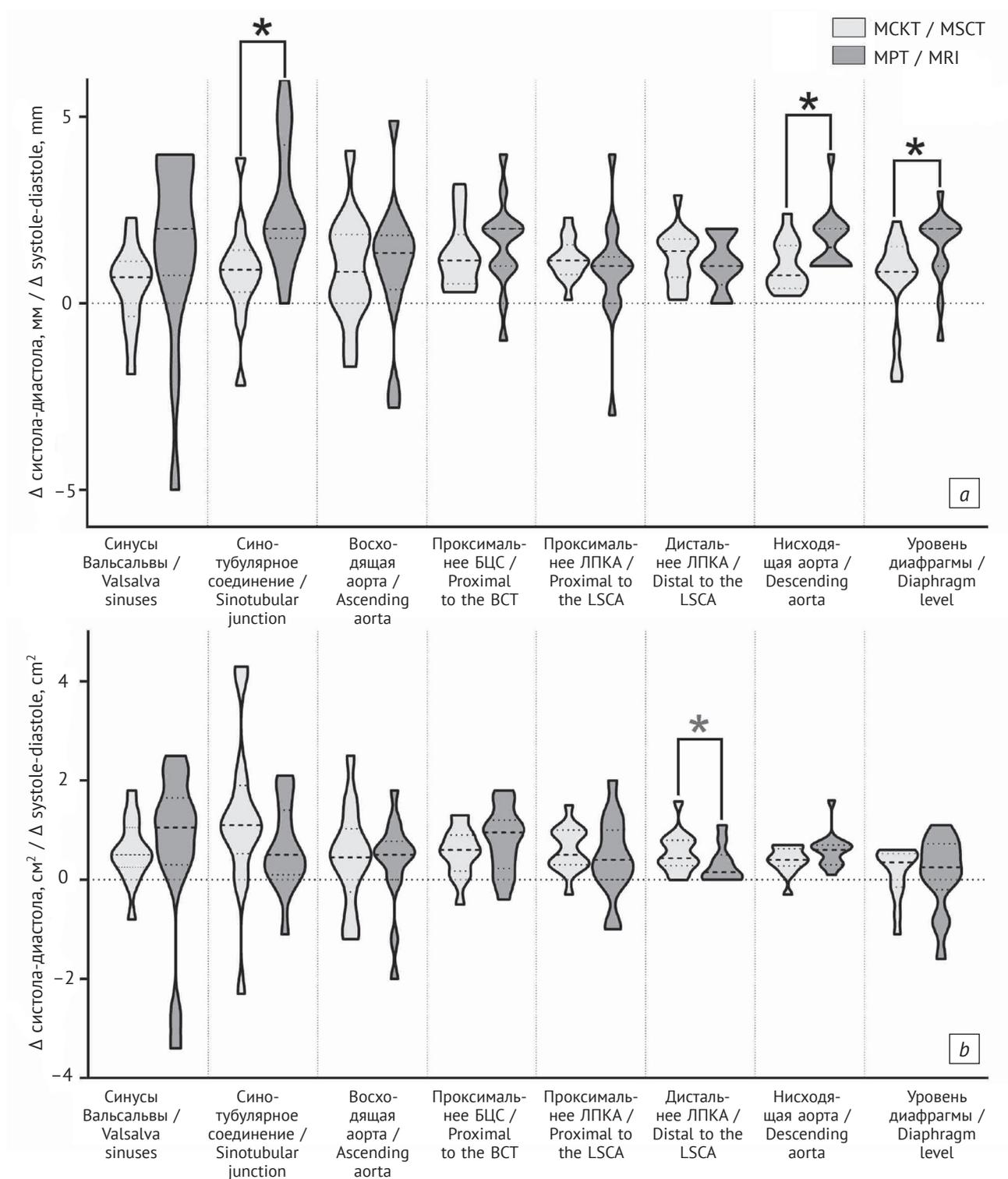


Рис. 4. Графики плотности распределения дельт (Δ систола-диастола) диаметров (а) и площадей поперечного сечения (b) для МСКТ- и МРТ-ангиографии.

* Достоверные различия.

МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография; МРТ – магнитно-резонансная томография; БЦС – брахиоцефальный ствол; ЛПКА – левая подключичная артерия

Fig. 4. Graphs of the density of deltas (Δ systole-diastole) distribution of diameters (a) and cross-sectional areas (b) for MSCT and MRI angiography.

* Significant differences.

MSCT – multislice computed tomography; MRI – magnetic resonance imaging; BCT – brachiocephalic trunk; LSCA – left subclavian artery

Таблица 3
Table 3

Внутри- и межоператорские различия измерений аорты по данным МСКТ-ангиографии
Intra- and inter-operator differences in aortic measurements according to MSCT angiography

Уровень измерения / Measurement level	Тип измерения / Measurement type	ICC (95% ДИ) / ICC (95% CI)			
		Внутриоператорское различие / Intra-operator difference		Межоператорское различие / Inter-operator difference	
		Конеч систолы / End of systole	Конеч диастолы / End of diastole	Конеч систолы / End of systole	Конеч диастолы / End of diastole
Синусы Вальсальвы / Valsalva sinuses	Диаметр / Diameter	0,982 (0,949–0,994)	0,969 (0,914–0,989)	0,927 (0,695–0,983)	0,970 (0,871–0,993)
	Площадь / Area	0,955 (0,874–0,984)	0,973 (0,922–0,991)	0,966 (0,815–0,993)	0,989 (0,950–0,997)
Синотубулярное соединение / Sinotubular junction	Диаметр / Diameter	0,995 (0,985–0,998)	0,992 (0,973–0,997)	0,989 (0,583–0,998)	0,992 (0,927–0,998)
	Площадь / Area	0,994 (0,983–0,998)	0,995 (0,987–0,998)	0,996 (0,983–0,999)	0,995 (0,980–0,999)
Восходящая аорта на уровне бифуркации ЛС / Ascending aorta at the level of PT bifurcation	Диаметр / Diameter	0,992 (0,978–0,997)	0,986 (0,962–0,995)	0,984 (0,933–0,996)	0,947 (0,766–0,998)
	Площадь / Area	0,995 (0,987–0,998)	0,997 (0,991–0,999)	0,993 (0,970–0,998)	0,967 (0,853–0,993)
Аорта на уровне БЦС / Aorta at the BCT level	Диаметр / Diameter	0,992 (0,973–0,997)	0,989 (0,970–0,996)	0,902 (0,562–0,978)	0,977 (0,881–0,995)
	Площадь / Area	0,955 (0,878–0,984)	0,939 (0,834–0,978)	0,985 (0,939–0,997)	0,984 (0,926–0,996)
Аорта проксимальнее ЛПКА / Aorta proximal to LSCA	Диаметр / Diameter	0,975 (0,930–0,991)	0,979 (0,941–0,993)	0,971 (0,798–0,993)	0,954 (0,811–0,990)
	Площадь / Area	0,989 (0,969–0,996)	0,987 (0,964–0,995)	0,974 (0,893–0,994)	0,969 (0,866–0,993)
Аорта дистальнее ЛПКА / Aorta distal to LSCA	Диаметр / Diameter	0,969 (0,871–0,990)	0,984 (0,954–0,994)	0,972 (0,884–0,994)	0,982 (0,911–0,996)
	Площадь / Area	0,976 (0,935–0,991)	0,952 (0,867–0,982)	0,990 (0,954–0,998)	0,985 (0,941–0,997)
Аорта на уровне ЛП / Aorta at the LA level	Диаметр / Diameter	0,994 (0,983–0,998)	0,996 (0,988–0,999)	0,995 (0,980–0,999)	0,993 (0,970–0,998)
	Площадь / Area	0,989 (0,970–0,996)	0,975 (0,931–0,991)	0,992 (0,968–0,998)	0,996 (0,984–0,999)
Аорта на уровне диафрагмы / Aorta at the diaphragm level	Диаметр / Diameter	0,979 (0,940–0,993)	0,984 (0,955–0,994)	0,998 (0,916–0,998)	0,960 (0,854–0,993)
	Площадь / Area	0,991 (0,974–0,997)	0,986 (0,961–0,995)	0,992 (0,942–0,988)	0,984 (0,920–0,997)

Примечание. ICC (intraclass correlation coefficient) – коэффициент внутриклассовой корреляции; ДИ – доверительный интервал.

Note. ICC – intraclass correlation coefficient; CI – confidence interval.

Таблица 4
Table 4

**Внутри- и межоператорские различия измерений аорты по данным МРТ-ангиографии
Intra- and inter-operator differences in aortic measurements according to MRI angiography**

Уровень измерения / Measurement level	Тип измерения / Measurement type	ISS (95% ДИ) / ISS (95% CI)			
		Внутриоператорское различие / Intra-operator difference		Межоператорское различие / Inter-operator difference	
		Конец систолы / End of systole	Конец диастолы / End of diastole	Конец систолы / End of systole	Конец диастолы / End of diastole
Синусы Вальсальвы / Valsalva sinuses	Диаметр / Diameter	0,970 (0,901–0,991)	0,967 (0,889–0,990)	0,934 (0,781–0,981)	0,943 (0,809–0,983)
	Площадь / Area	0,976 (0,905–0,993)	0,978 (0,927–0,994)	0,933 (0,727–0,982)	0,739 (0,838–0,926)
Синотубулярное соединение / Sinotubular junction	Диаметр / Diameter	0,926 (0,748–0,978)	0,853 (0,516–0,957)	0,902 (0,686–0,969)	0,912 (0,731–0,972)
	Площадь / Area	0,928 (0,755–0,979)	0,852 (0,500–0,957)	0,923 (0,707–0,977)	0,901 (0,697–0,968)
ВАО на уровне бифуркации ЛС / AAo at the level of PT bifurcation	Диаметр / Diameter	0,982 (0,944–0,995)	0,989 (0,965–0,997)	0,927 (0,780–0,976)	0,953 (0,857–0,985)
	Площадь / Area	0,986 (0,956–0,996)	0,992 (0,972–0,998)	0,955 (0,858–0,986)	0,970 (0,905–0,990)
ААО на уровне БЦС / Aorta at the BCT level	Диаметр / Diameter	0,975 (0,912–0,993)	0,979 (0,930–0,994)	0,946 (0,834–0,983)	0,913 (0,726–0,972)
	Площадь / Area	0,984 (0,946–0,995)	0,978 (0,923–0,994)	0,949 (0,839–0,984)	0,935 (0,797–0,979)
Аорта проксимальнее ЛПКА / Aorta proximal to LSCA	Диаметр / Diameter	0,782 (0,328–0,932)*	0,680 (0,039–0,900)*	0,815 (0,404–0,941)	0,830 (0,494–0,945)
	Площадь / Area	0,796 (0,371–0,937)*	0,717 (0,145–0,911)*	0,811 (0,400–0,940)	0,857 (0,571–0,953)
Аорта дистальнее ЛПКА / Aorta distal to LSCA	Диаметр / Diameter	0,644 (–0,434–0,906)*	0,342 (–0,921–0,830)*	–0,684 (–8,789–0,672)*	–0,831 (–4,640–0,596)*
	Площадь / Area	0,747 (–0,006–0,933)*	0,611 (–0,614–0,898)*	0,000 (–3,883–0,799)*	–1,632 (4,334–0,584)*
Аорта на уровне ЛП / Aorta at the LA level	Диаметр / Diameter	0,972 (0,907–0,991)	0,226 (–0,512–0,763)*	0,981 (0,943–0,994)	0,545 (–0,341–0,851)*
	Площадь / Area	0,982 (0,924–0,995)	0,962 (0,964–0,993)	0,965 (0,847–0,990)	0,970 (0,798–0,992)
Аорта на уровне диафрагмы / Aorta at the diaphragm level	Диаметр / Diameter	0,942 (0,807–0,982)	0,982 (0,914–0,995)	0,946 (0,837–0,982)	0,034 (–1,702–0,678)*
	Площадь / Area	0,966 (0,814–0,991)	0,071 (–0,362–0,689)*	0,925 (0,893–0,983)	–0,002 (–1,538–0,653)*

* Достоверное различие с уровнем значимости <0,05.

* Significant difference with a significance level <0.05.

Внутри- и межоператорская воспроизводимость

Для МСКТ-ангиографии была выявлена хорошая воспроизводимость результатов практически на всех уровнях измерения аорты как между рентгенологами, так и у одного врача лучевой диагностики (табл. 3). По данным МРТ-исследования отмечалась сильная внутри- и межоператорская вариабельность в определении среднего диаметра и площади поперечного сечения на уровне дуги и нисходящей аорты (табл. 4).

Так, ИСС и 95% доверительный интервал (ДИ) внутриоператорской воспроизводимости конечного систолического среднего диаметра аорты на уровнях проксимальнее и дистальнее левой подключичной артерии составили 0,782 (0,328–0,932) и 0,644 (–0,434–0,906) соответственно. ИСС (95% ДИ) внутриоператорской воспроизводимости конечной систолической площади поперечного сечения аорты на уровнях проксимальнее и дистальнее левой подключичной артерии составили 0,796 (0,371–0,937) и 0,747 (–0,006–0,933) соответственно. ИСС (95% ДИ) внутриоператорской воспроизводимости конечной диастолической площади поперечного сечения аорты на уровнях проксимальнее левой подключичной артерии, дистальнее левой подключичной артерии и диафрагмы составили 0,717 (0,145–0,911), 0,611 (–0,614–0,898) и 0,071 (–0,362–0,689) соответственно. ИСС (95% ДИ) внутриоператорской воспроизводимости конечного диастолического среднего диаметра аорты на уровнях проксимальнее левой подключичной артерии, дистальнее левой подключичной артерии и левого предсердия составили 0,680 (0,039–0,900), 0,342 (–0,921–0,830) и 0,226 (–0,512–0,763) соответственно. ИСС (95% ДИ) межоператорской воспроизводимости конечного диастолического среднего диаметра аорты на уровнях дистальнее левой подключичной артерии, левого предсердия и диафрагмы составили 0,831 (–4,640–0,596), 0,545 (–0,341–0,851) и 0,034 (–1,702–0,678) соответственно. ИСС (95% ДИ) межоператорской воспроизводимости конечной диастолической площади поперечного сечения аорты на уровнях дистальнее левой подключичной артерии и диафрагмы составили –1,632 (4,334–0,584) и –0,002 (–1,538–0,653) соответственно. ИСС (95% ДИ) межоператорской воспроизводимости конечных систолических среднего диаметра и площади поперечного сечения аорты на уровне дистальнее левой подключичной артерии составили –0,684 (–8,789–0,672) и 0,000 (–3,883–0,799) соответственно.

Обсуждение / Discussion

По результатам исследования установлено, что площадь поперечного сечения показывает наилучшую внутри- и межоператорскую воспроиз-

водимость результатов как для МСКТ-ангиографии (на всех уровнях измерения грудной аорты), так и для МРТ-ангиографии (на уровне корня и восходящего отдела аорты).

Объяснением полученных результатов может служить тот факт, что измерение диаметров происходит по двум точкам, выбор которых зависит от оператора, тогда как площадь поперечного сечения вычисляется автоматически на основании ручной обводки внутреннего контура стенки аорты и, следовательно, является параметром с большим пространственным разрешением. Поэтому площадь поперечного сечения можно рассматривать в качестве наиболее точного и потенциально перспективного критерия для стратификации риска и планирования хирургического лечения аневризмы грудного отдела аорты.

На сегодняшний день нет единого однозначного мнения о том, какой из методов лучевой диагностики наиболее точно способен определять размеры аорты [4]. В представленном исследовании выполнен сравнительный анализ измерений грудной аорты по данным МСКТ- и МРТ-ангиографии в разные фазы сердечного цикла. По результатам нашей работы показана хорошая сопоставимость измерений между двумя модальностями при оценке размеров грудной аорты на всех уровнях, за исключением среднего диаметра и площади поперечного сечения аорты на уровне синотубулярного соединения, площади поперечного сечения восходящей аорты на уровне бифуркации легочного ствола и среднего диаметра сосуда проксимальнее отхождения левой подключичной артерии в систолу, а также среднего диаметра и площади поперечного сечения на уровне восходящей аорты и дуги (проксимальнее отхождения левой подключичной артерии), площади поперечного сечения нисходящей аорты на уровне левого предсердия в диастолу.

C. Frazao et al. [7] описали аналогичные результаты, указав на высокую сопоставимость МСКТ- и МРТ-измерений при оценке размеров грудной аорты на всех уровнях, за исключением дистального отдела нисходящей аорты, как с учетом толщины стенки сосуда, так и без нее.

Эти данные сопоставимы с ранее опубликованными R.P. Lim et al. [8], которые показали отличное соответствие измерений между бесконтрастной МРТ-ангиографией (ЭКГ-синхронизированной и с задержкой дыхания) и ЭКГ-синхронизированной МСКТ-ангиографией, несмотря на более низкое качество МРТ-изображений, преимущественно на уровне корня аорты. В данное проспективное исследование был включен 31 пациент, которым проводились МСКТ и МРТ грудной аорты с подозрением на аневризму и/или расслоение аорты. Авторы проводили измерения с учетом толщины стенки со-

суда. При этом точность МСКТ в оценке диаметра аорты была выше, тогда как при МРТ отмечалась недооценка диаметра сосуда.

L.R. Vons et al. [9] также показали хорошее согласие между измерениями аорты с помощью МРТ и МСКТ, сравнивая измерения на уровне корня и восходящего отдела аорты. Так, коэффициент корреляции Пирсона при сравнении обсуждаемых модальностей составил 0,84–0,95 на уровне синусов Вальсальвы и >0,96 на уровнях синотубулярного соединения и восходящей аорты. Кроме того, средние систолические диаметры аорты были значительно больше конечных диастолических почти на всех уровнях измерения. Так, средняя разница $1,5 \pm 1,3$ и $1,8 \pm 1,5$ мм наблюдалась на уровнях синотубулярного соединения и восходящей аорты соответственно. На основании результатов обсуждаемого исследования авторы рекомендуют ориентироваться на средние систолические размеры аорты для стратификации риска и принятия решения о необходимости хирургического лечения.

Мы получили хорошую межоператорскую и внутриоператорскую воспроизводимость результатов ЭКГ-синхронизированной МСКТ-ангиографии на всех уровнях измерения аорты. Эти результаты согласуются с ранее опубликованными работами, в которых применяли ЭКГ-синхронизированную МСКТ для оценки грудного отдела сосуда. В частности, в работе W. Zhu et al. [6] также было продемонстрировано хорошее меж- и внутриоператорское согласие по всем МСКТ-измерениям.

Воспроизводимость данных при оценке результатов МРТ грудного отдела аорты как для одного исследователя, так и между исследователями также была достаточно хорошей. Полученные нами результаты согласуются с данными зарубежных исследований, где было показано превосходное согласие между наблюдателями почти по всем МРТ-измерениям [10]. Различия, как и в нашей работе, были выявлены на уровне фиброзного кольца аортального клапана, восходящего отдела и дуги аорты (проксимальнее левой подключичной артерии), однако разница измерений составила не более 1 мм, что не представляет значимости непосредственно для клинической практики.

Литература [References]

1. Pearson G, Devereux R, Loeys B, et al. Report of the National Heart, Lung, and Blood Institute and National Marfan Foundation Working Group on research in Marfan syndrome and related disorders. *Circulation*. 2008; 118(7): 785–91. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.783753>.
2. Абугов С.А., Аверина Т.Б., Аксельрот Б.А. и др. Клинические рекомендации. Рекомендации по диагностике и лечению заболеваний аорты (2017). *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2018; 11(1): 7–67.

В своем исследовании мы также оценивали деформационные свойства аорты по изменению диаметра и площади поперечного сечения сосуда в систолу и диастолу. Наилучшая сопоставимость результатов между МСКТ и МРТ была получена при сравнении систолодиастолической разницы площади поперечного сечения аорты практически на всех уровнях измерения сосуда, за исключением уровня дистальнее левой подключичной артерии. В настоящее время в научно-медицинской периодике аналогичные исследования не обнаружены.

Ограничения исследования

К основным ограничениям представленной работы следует отнести небольшой объем выборки. Необходимо проведение исследований с большим числом пациентов, чтобы получить более репрезентативные результаты. Кроме того, полученные выводы должны быть проверены в клинической практике. Также мы не проводили измерение «должного» диаметра аорты, учитывающего пол, возраст, площадь поверхности тела пациентов. Полагаем, что данный показатель может сыграть ключевую роль в вопросе дифференцировки пограничного расширения аорты и аневризмы на основании отклонения диаметра, определяемого с помощью МСКТ и МРТ, от «должного» персонализированно для каждого пациента.

Заключение / Conclusion

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что, независимо от того, какая модальность для визуализации грудной аорты используется, необходимо разработать стандартизированный подход к измерениям, который был бы точным и воспроизводимым. В нашей работе показана отличная сопоставимость результатов измерений грудной аорты между МСКТ и бесконтрастной МРТ. В качестве маркера для стратификации риска и планирования хирургического лечения аневризмы грудного отдела аорты мы рекомендуем ориентироваться на площадь поперечного сечения, так как по сравнению с другими параметрами измерения она показала наилучшую внутри- и межоператорскую воспроизводимость результатов и сопоставимость измерений между двумя лучевыми модальностями.

- [Абугов СА, Аверина ТБ, Акхурин РС, et al Clinical guidelines. guidelines for the diagnosis and treatment of aortic diseases (2017). *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery*. 2018; 11(1): 7–67 (in Russ.).]
3. Elefteriades JA, Botta DM Jr. Indications for the treatment of thoracic aortic aneurysms. *Surg Clin North Am*. 2009; 89(4): 845–67. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2009.06.005>.
4. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: document

- covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014; 35(41): 2873–926. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu281>.
5. Belvroy VM, Zubair MM, van Herwaarden JA, et al. Important longitudinal and circumferential pulsatile changes in zone 0 of the aorta during the cardiac cycle. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2020: ezaa306. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa306>.
 6. Zhu W, Wang Y, Chen Y, et al. Dynamic changes in the aorta during the cardiac cycle analyzed by ECG-gated computed tomography. *Front Cardiovasc Med*. 2022; 9: 793722. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.793722>.
 7. Frazao C, Tavoosi A, Wintersperger BJ, et al. Multimodality assessment of thoracic aortic dimensions: comparison of computed tomography angiography, magnetic resonance imaging, and echocardiography measurements. *J Thorac Imaging*. 2020; 35(6): 399–406. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000514>.
 8. Lim RP, Singh SG, Hornsey E, et al. Highly accelerated breath-hold noncontrast electrocardiographically- and pulse-gated balanced steady-state free precession magnetic resonance angiography of the thoracic aorta: comparison with electrocardiographically-gated computed tomographic angiography. *J Comput Assist Tomogr*. 2019; 43(2): 323–32. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000838>.
 9. Bons LR, Duijnhouwer AL, Boccalini S, et al. Intermodality variation of aortic dimensions: how, where and when to measure the ascending aorta. *Int J Cardiol*. 2019; 276: 230–5. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.08.067>.
 10. Beck L, Mohamed AA, Strugnell WE, et al. MRI measurements of the thoracic aorta and pulmonary artery. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2018; 62(1): 64–71. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12637>.