



Количественная визуализационная оценка сосудистой стенки у пациентов с хирургической патологией аортального клапана, аорты и брахиоцефальных артерий

©Т.А. Берген^{1*}, Е.И. Зяблова^{2,3}, А.Р. Таркова¹, Е. Кобелев¹, И.Г. Носуля^{2,3}, Н.Т. Пак¹, В.Е. Сеницын⁴, А.М. Чернявский¹, В.Ю. Усов^{5,6}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр им. акад. Е.Н. Мешалкина, Новосибирск, Россия

² Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия

³ Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁵ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

⁶ Научно-исследовательский институт кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск, Россия

*Т.А. Берген, Национальный медицинский исследовательский центр им. акад. Е.Н. Мешалкина, 630055, Новосибирск, ул. Речкуновская, 15, bergen_t@meshalkin.ru

Поступила в редакцию 1 августа 2022 г. Исправлена 30 сентября 2022 г. Принята к печати 10 октября 2022 г.

Резюме

Цель: Выявить количественные характеристики изменений артериальной стенки по данным ультразвуковой диагностики (УЗД), компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ), разработать маршрутную карту применения методов лучевой диагностики.

Материал и методы: 548 исследований 483 пациентов с атеросклерозом (15 УЗ-исследований, 483 компьютерно-томографических ангиографий (КТА) и 50 МРТ). В группе сравнения ($n = 17$) у пациентов без атеросклероза был проведен анализ данных МРТ аортальной стенки. По данным КТА оценивались признаки атеросклеротической дегенерации. По данным МРТ рассчитывались показатели растяжимости аорты, модуль Юнга стенки аорты (МПа), систолическое растяжение аорты (мл), индекс усиления стенки аорты при контрастировании.

Результаты: При проведении УЗД во всех случаях ($n = 15$) анализ эластических свойств аортальной стенки был затруднителен из-за артефакта от кальциноза. Определены неблагоприятные КТ-признаки возникновения интраоперационных сосудистых осложнений: наличие внутрисосудистого тромба, неровный внутренний контур аорты более половины окружности при толщине стенки аорты более 5 мм. По данным МРТ у пациентов с атеросклерозом растяжимость аорты снижена до $14,42 \pm 2,95\%$, модуль Юнга для стенки аорты $0,77 \pm 0,26$ МПа, индекс контрастного усиления стенки аорты $1,73 \pm 0,5$, объем систолического растяжения аорты $11,48 \pm 1,84$ мл. У пациентов с сосудистыми событиями в периоперационный период систолическое расширение аорты составило 9,2 мл.

Выводы: Выявлены признаки, которые целесообразно взять в работу при принятии решения об оперативном лечении. Выявлены значимые ограничения при оценке эластичности по УЗД. Широкое применение МРТ при атеросклеротическом поражении является перспективным.

Ключевые слова: аорта, атеросклероз, компьютерно-томографическая ангиография, магнитно-резонансная томография, ультразвуковая диагностика

Цитировать: Берген Т.А., Зяблова Е.И., Таркова А.Р., Кобелев Е., Носуля И.Г., Пак Н.Т., Сеницын В.Е., Чернявский А.М., Усов В.Ю. Количественная визуализационная оценка сосудистой стенки у пациентов с хирургической патологией аортального клапана, аорты и брахиоцефальных артерий. *Инновационная медицина Кубани*. 2022;(4):5–13. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2022-25-4-5-13>



Quantitative visualization assessment of the vascular wall in patients with surgical pathology of the aortic valve, aorta and brachiocephalic arteries

©Tatiana A. Bergen^{1*}, Elena I. Zyblova^{2,3}, Alexandra R. Tarkova¹, Evgeny Kobelev¹, Irina G. Nosulya^{2,3}, Natalya T. Pak¹, Valentin E. Sinitsyn⁴, Alexander M. Chernyavsky¹, Vladimir Yu. Usov^{5,6}

¹ Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

² Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1, Krasnodar, Russian Federation

³ Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁵ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

⁶ Tomsk National Research Medical Center Cardiology Research Institute, Tomsk, Russian Federation

*Tatiana A. Bergen, Meshalkin National Medical Research Center, 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, 630055, bergen_t@meshalkin.ru

Received: August 1, 2022. Received in revised form: September 30, 2022. Accepted: October 10, 2022.

Abstract

Objective: Identification of the quantitative characteristics of changes in the arterial wall according to ultrasound, CT and MRI; development of the roadmap for the use of radiology diagnostic methods.

Material and methods: 548 studies of 483 patients with atherosclerosis were analyzed (15 ultrasound studies, 483 – CTA and 50 – MRI). In the comparison group (n = 17) in patients without atherosclerosis, an analysis of MRI data of the aortic wall was performed. According to CTA, signs of atherosclerotic degeneration were assessed. According to the MRI data, indicators of aortic distensibility, Young's modulus of the aortic wall (MPa), systolic distension of the aorta (ml), aortic wall enhancement index during contrast enhancement were calculated.

Results: During the performance of ultrasound in all cases (n = 15), the analysis of the elastic properties of the aortic wall is difficult due to the artifact from calcification. Adverse CT signs of the occurrence of intraoperative vascular complications: the presence of an intraluminal thrombus, an uneven internal aortic contour of more than half of the circumference with an aortic wall thickness of more than 5 mm. According to MRI data in patients with atherosclerosis, aortic distensibility was reduced to $14.42 \pm 2.95\%$, Young's modulus for the aortic wall was 0.77 ± 0.26 MPa, the index of contrast enhancement of the aortic wall was 1.73 ± 0.5 , the volume of systolic aortic distension was 11.48 ± 1.84 ml. In patients with vascular events in the perioperative period, systolic aortic dilatation was 9.2 ml.

Conclusion: The signs which are expedient to consider when making a decision on surgical treatment have been identified. Significant limitations were identified in the assessment of elasticity by ultrasound. The wider use of MRI in atherosclerotic lesions looks promising.

Keywords: aorta, atherosclerosis, computed tomographic angiography, magnetic resonance imaging, ultrasound

Cite this article as: Bergen T.A., Zyblova E.I., Tarkova A.R., Kobelev E., Nosulya I.G., Pak N.T., Sinitsyn V.E., Chernyavsky A.M., Usov V.Yu. Quantitative visualization assessment of the vascular wall in patients with surgical pathology of the aortic valve, aorta and brachiocephalic arteries. *Innovative Medicine of Kuban.* 2022;(4):5–13. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2022-25-4-5-13>

Введение

В наши дни в условиях постоянной модернизации оборудования имеется широкий выбор методов диагностики, поэтому существует острая потребность в их систематизации при применении в научно-клинической практике [1].

Самая частая базовая причина сердечно-сосудистых событий – атеросклероз [2]. При его выявлении широко используется ультразвуковая диагностика (УЗД). Однако, несмотря на то, что современные ультразвуковые аппараты оснащены возможностью оценки эластичности аорты, анализируются только толщина комплекса интима-медиа и степень стеноза. Есть работы, в которых на основе компьютерной томографии (КТ) оценивается растяжимость аорты на разных уровнях [3]. С помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) также можно неинвазивно определить растяжимость [4]. Радионуклидная диагностика по частоте применения, как правило, занимает последнее место [5]. Публикаций, которые анализируют технологии и изучают прогностические неблагоприятные признаки в литературе очень мало.

Цель исследования

Систематизация применения методов лучевой диагностики, разработка маршрутной карты использования методов в клинической практике и биотехническом моделировании сосудов с помощью качественных и количественных характеристик изменений артериальной стенки по данным УЗД, КТ и МРТ у пациентов с атеросклеротическим поражением сосудов.

Материал и методы

Проведен ретроспективный анализ базы данных ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России за 2010–2022 гг. Все процедуры были осуществлены по клиническим показаниям, все пациенты подписали информированное согласие об использовании персональных данных в научных целях, одобрения этического комитета не требовалось.

Проанализировано 548 диагностических процедур 483 пациентов с атеросклерозом, из них 15 – это УЗД-исследования, 483 компьютерно-томографической ангиографии (КТА) и 50 МРТ. Также проанализированы нозологические формы: стенозы сонных артерий – 171 и аортальных клапанов – 262, аневризмы восходя-

Таблица 1
Характеристики групп пациентов
Table 1
Characteristics of patient groups

| Характеристики | Группа с осложнениями (n = 71) | Группа без осложнений (n = 283) | Контрольная группа (n = 17) |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Возраст, лет | 69 ± 5,7 | 67 ± 6,1 | 35 ± 5,7 |
| Женщины | 23 (32,4%) | 87 (30,7%) | 10 (58,82%) |
| Атеросклероз в анамнезе | 71 (100%) | 283 (100%) | 0 (0%) |

шего отдела грудной аорты – 15, брюшной аорты – 30, торакоабдоминального отдела аорты – 5 пациентов.

Во всех случаях УЗД проводилась как первый метод диагностики, МРТ – как уточняющий метод.

После проведения томографической диагностики всем пациентам выполнено хирургическое лечение. Из них: 73,3% (354 пациента) с помощью эндоваскулярных технологий (транскатетерная имплантация аортального клапана – 262, транслюминальная баллонная ангиопластика со стентированием сонных артерий – 72, протезирование аорты – 20). 25,7% – открытое хирургическое лечение (99 пациентов – каротидная эндартерэктомия, 25 пациентов – протезирование аорты), 1% (5 больных) произведено гибридное протезирование аорты.

Кроме того, в работе использована группа сравнения (n = 17) пациентов без атеросклероза, у которых был проведен анализ данных МРТ аортальной стенки.

Трансторакальную 3D-эхокардиографию (ЭхоКГ) и дуплексное сканирование аорты осуществляли на аппарате Vivid E95 (GE Healthcare, Франция) с ЭКГ-синхронизацией в стандартных позициях датчика. Проведена оценка эластических свойств аортальной стенки. КТА выполняли на компьютерном томографе 64–320-срезов (Toshiba, США). МРТ проводили на аппарате с напряженностью магнитного поля 1,5 Т с использованием кардиальной катушки с проспективной ЭКГ-синхронизацией.

По данным КТА оценивались признаки атеросклеротической дегенерации стенки аорты по методике, описанной в другой работе [6]. По данным МРТ рассчитывались: величина поперечной растяжимости аорты, растяжимость с нормировкой на пульсовое артериальное давление, модуль Юнга (технология описана в другой работе [4]). Индекс усиления интенсивности сигнала на МРТ определялся по алгоритму опубликованной работы [7].

Статистическая обработка результатов осуществлялась с использованием параметрических (Стьюдента) и непараметрических (Манна – Уитни) критериев для непарных выборок при помощи пакета прикладных программ Origin 6.11 (OriginLab Co., Нортгемптон, Массачусетс). Категориальные данные представлены в виде чисел и процентов. Принятый уровень значимости – $p < 0,05$.

Результаты

Пациенты после эндоваскулярного лечения (n = 354) были разделены на две группы. Группа тех, у кого в периоперационном периоде выявлены острые сосудистые события и группа без осложнений. Характеристики группы с осложнениями, без осложнений и контрольной группы представлены в таблице 1.

УЗД

При проведении 3D-ЭхоКГ и УЗД брюшной аорты во всех случаях (n = 15) при попытке анализа эластических свойств аортальной стенки возникли непреодолимые сложности, связанные с невозможностью достоверного измерения параметров из-за артефакта от кальциноза, поэтому дальнейший анализ структурных и функциональных изменений аортальной стенки по данным УЗД был завершен.

КТА

По данным КТА были проанализированы количественные и качественные критерии атеросклеротического поражения, определенные в других работах, как прогностически значимые [6] (табл. 2).

Наиболее частыми признаками атеросклеротической дегенерации стенки аорты по данным КТА явились: неровный внутренний контур аорты (рис. 1)

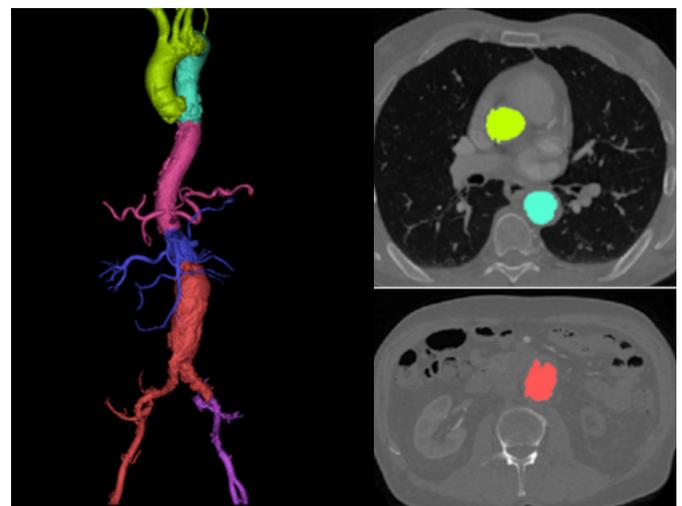


Рисунок 1. КТА аорты. Зона сканирования и отделы аорты. Неровный внутренний контур по всему диаметру
Figure 1. CTA of the aorta. Scanning area and aorta sections. Irregular internal contour throughout the entire diameter

Таблица 2

Встречаемость КТА-критериев у пациентов с атеросклеротическим поражением

Table 2

Occurrence of CTA criteria in patients with atherosclerotic lesions

| Признаки | Пациенты (n = 483) | Группа с осложнениями (n = 74) | Группа без осложнений (n = 409) |
|---|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Толщина стенки аорты, мм | 4,1 ± 2,7 | 4,9 ± 1,8 | 3,5 ± 1,5 |
| Кальцификация аортальной стенки | 483 (100%) | 74 (100%) | 409 (100%) |
| Неровный внутренний контур аорты | 369 (76,4%) | 72 (97,3%) | 297 (72,6%) |
| Наличие изъязвлений стенки аорты | 161 (33,3%) | 52 (70,3%) | 109 (26,7%) |
| Наличие внутриспросветного тромба | 13 (2,7%) | 9 (12,2%) | 4 (1,0%) |
| Протяженность выявленных изменений к диаметру окружности более половины | 33 (6,8%) | 28 (37,8%) | 5 (1,2%) |

Таблица 3

Показатели механической эластичности и контрастное усиление аортальной стенки по данным МРТ

Table 3

Indicators of mechanical elasticity and contrast enhancement of the aortic wall according to MRI data

| Показатель состояния аортальной стенки | Пациенты контрольной группы (n = 17) | Пациенты с атеросклерозом (n = 50) | p |
|---|--------------------------------------|------------------------------------|------|
| Растяжимость аорты, % | 33,72 ± 1,77 | 14,42 ± 2,95 | 0,05 |
| Растяжимость ^{норм} %/мм рт. ст. | 0,74 ± 0,037 | 0,30 ± 0,18 | 0,02 |
| Модуль Юнга аорты, МПа | 0,050 ± 0,0053 | 0,77 ± 0,26 | 0,01 |
| Индекс контрастного усиления стенки аорты | 1,05 ± 0,005 | 1,73 ± 0,5 | 0,02 |
| Объем систолического расширения аорты, мл | 13,9 ± 0,535 | 11,48 ± 1,84 | 0,05 |

и изъязвления стенки аорты. У пациентов с одновременным наличием КТ-признаков внутриспросветного тромба и протяженностью выявленных изменений к диаметру окружности более 50% во всех случаях определялся неровный внутренний контур аорты, а толщина ее стенки составляла более 5 мм.

МРТ

В таблице 3 представлены показатели механической эластичности и накопления контрастного вещества, отражающие атеросклеротическое поражение аортальной стенки по данным МРТ. У пациентов с атеросклерозом показатели снимались с дуги аорты или выше аневризмы в случае наличия аневризмы брюшной аорты.

Проведен анализ взаимосвязи между степенью контрастного усиления аортальной стенки и систолическим объемным расширением аорты. Выявлена обратная экспотенциальная зависимость. Показатель жесткости аортальной стенки (модуль Юнга) был достоверно связан с контрастным усилением стенки – усиление неоангиогенеза в стенке аорты напрямую способствовало нарастанию ее жесткости (рис. 2). При нарастании жесткости аортальной стенки происходило достоверное снижение объема систолического расширения аорты (рис. 3).

У 5 пациентов (10%), которым было проведено МРТ, в анамнезе в периоперационный период произошли сосудистые события. По данным МРТ величина модуля

Юнга и результаты распределения величин систолического расширения аорты различались у пациентов с острыми сосудистыми событиями (рис. 4).

В группе с острыми сосудистыми событиями модуль Юнга составил более 1,22 МПа, систолическое расширение аорты – менее 10 мл (среднее значение 8,84 мл), у пациентов без осложнений систолическое расширение аорты было более 10 мл (среднее значение 11,8 мл).

На основании проведенного анализа данных УЗД, КТА, МРТ была разработана маршрутная карта использования методов диагностики (рис. 5).

Обсуждение

В ежедневной клинической практике при патологии сердечно-сосудистой системы и во время экспериментальных работ чаще всего используются такие методы как УЗД, КТ и, в меньшей степени, МРТ.

Большинство современных аппаратов УЗД оснащено устройствами с возможностью оценки деформации аортальной стенки. Точность данной методики достаточно высока, поэтому оценка биомеханики в повседневной практике и при биотехническом моделировании сердца и сосудов является привлекательной из-за доступности сбора данных [8, 9]. В нашей работе при диагностике атеросклеротического поражения сосудистой стенки выявились непреодолимые трудности, связанные с кальцинозом, который стал

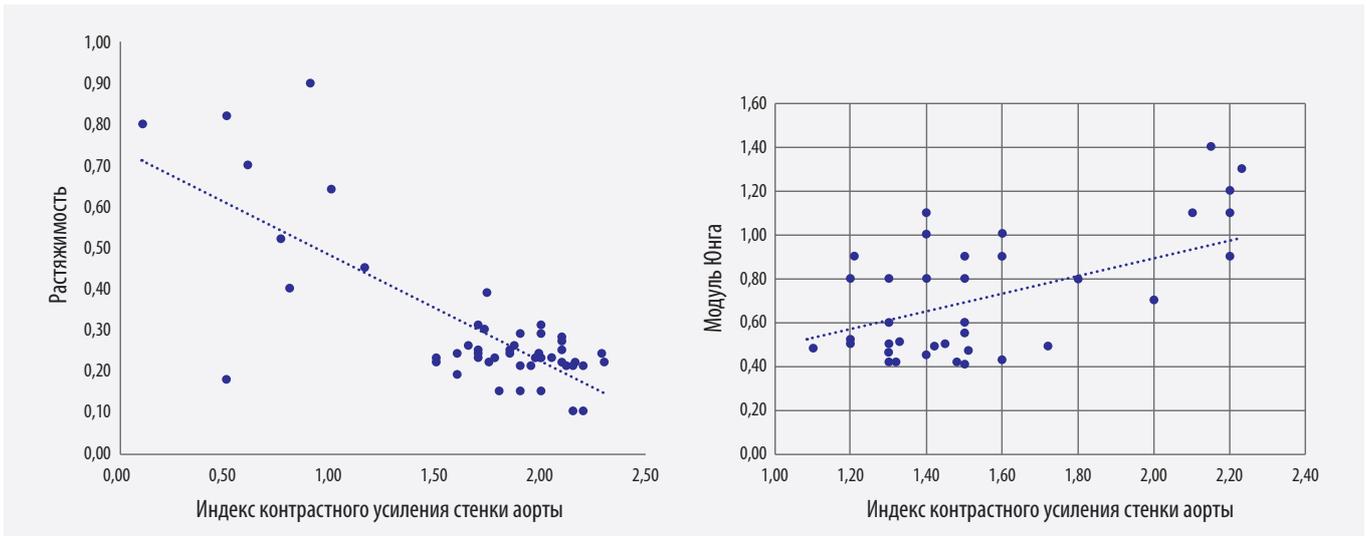


Рисунок 2. Взаимосвязь контрастного усиления аортальной стенки и растяжимости аорты; зависимость модуля Юнга от степени контрастного усиления стенки аорты
 Figure 2. Correlation between aortic wall contrast enhancement and aortic distensibility; dependence of Young's modulus on the degree of contrast enhancement of the aortic wall

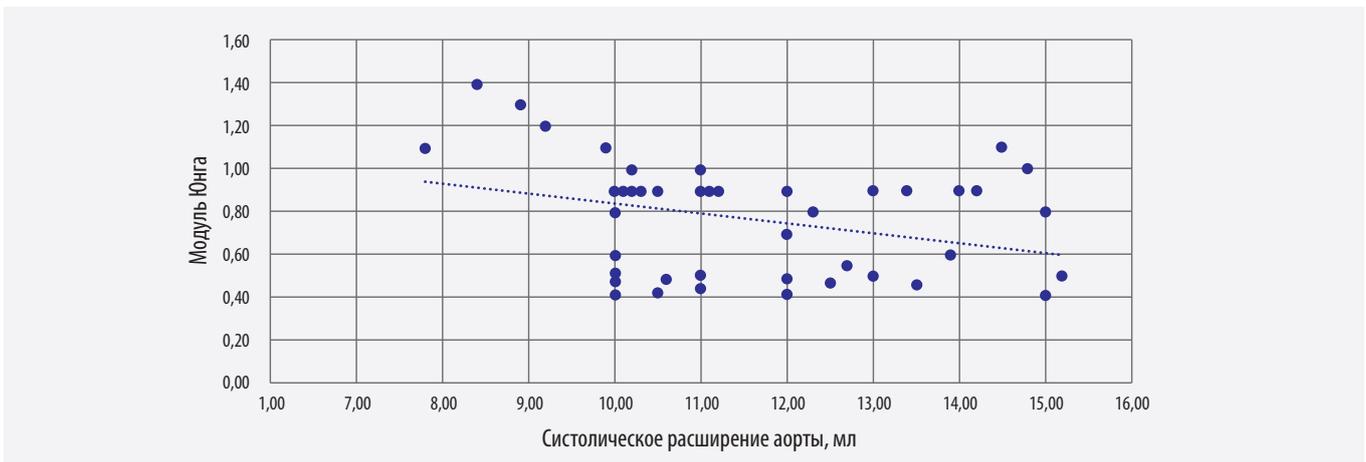


Рисунок 3. Зависимость объема систолического расширения аорты от величины модуля Юнга стенки аорты
 Figure 3. Dependence of the volume of systolic expansion of the aorta on the value of Young's modulus of the aortic wall

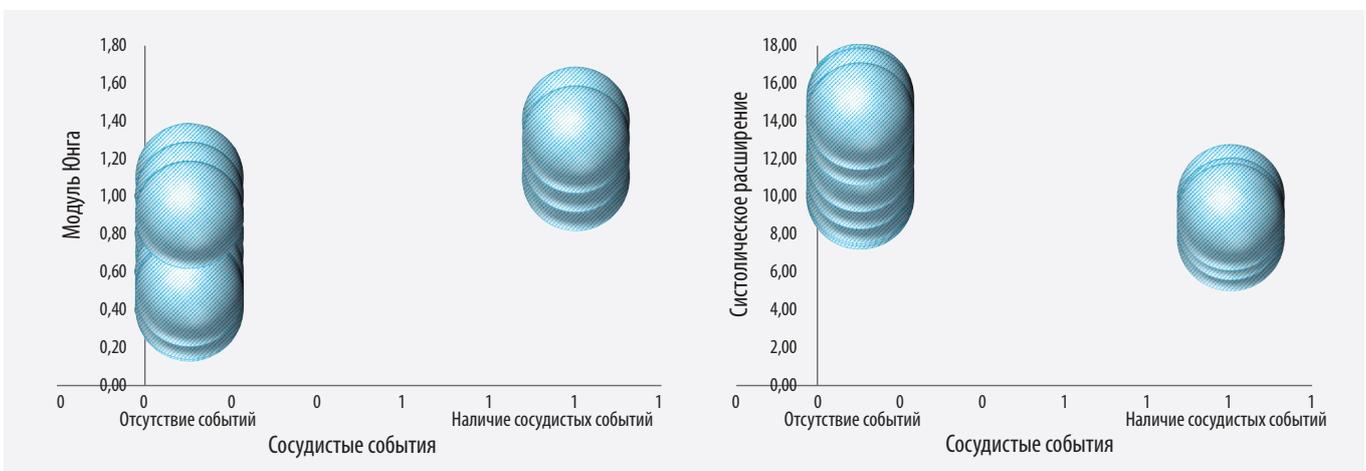


Рисунок 4. Распределение величин модуля Юнга для стенки аорты и объема систолического расширения аорты, в зависимости от наличия или отсутствия острых сосудистых событий
 Figure 4. Distribution of Young's modulus values for the aortic wall and distribution of volume values of systolic aortic dilatation depending on the presence or absence of acute vascular events

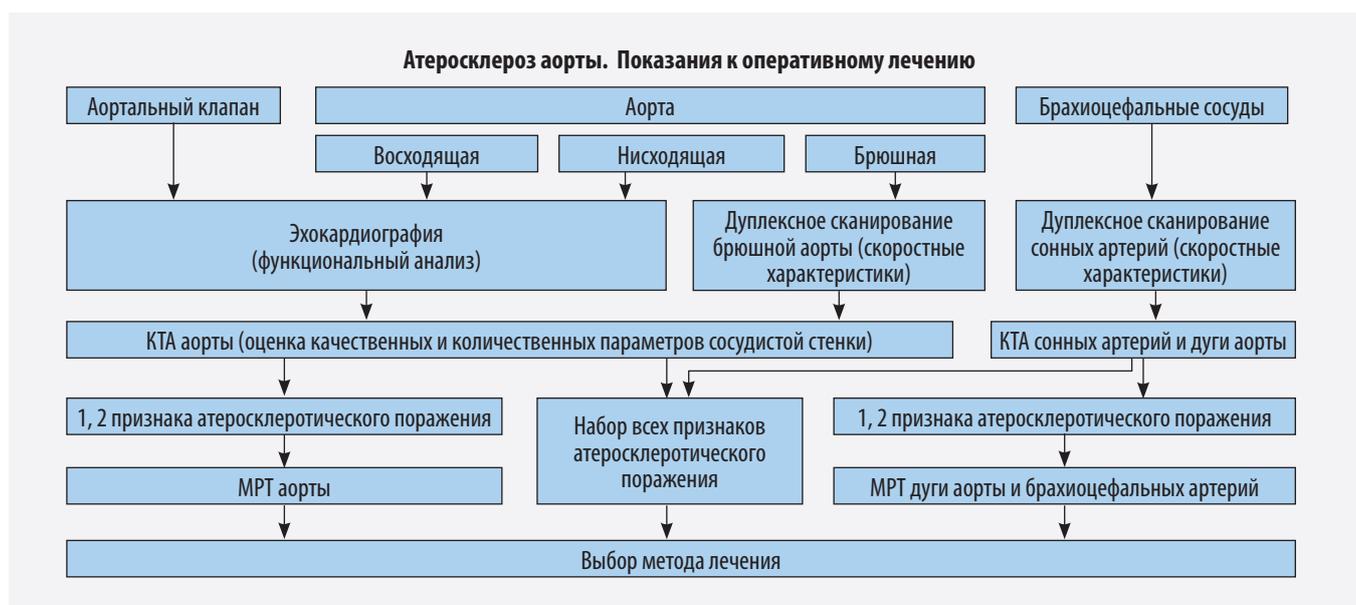


Рисунок 5. Алгоритм использования методов лучевой диагностики при подготовке к оперативному лечению при атеросклерозе аорты

Figure 5. Algorithm for using radiology diagnostics methods in preparation for surgical treatment in conditions of aortic atherosclerosis

причиной артефакта при проведении ультразвуковой волны, что сделало невозможным сбор базовых данных и анализ. Другим значимым препятствием к дальнейшему применению УЗД при изучении биомеханики аорты является ограничение поля эхолокации шириной датчика. Общеизвестны ограничения при УЗД аорты, подвздошных артерий. Таким образом, результат этой работы свидетельствует, что применение УЗД для анализа биомеханики не является достаточно надежным и информативным.

КТА – это наиболее распространенное исследование как в клинической практике, так и при биотехническом моделировании. При активном развитии лучевой диагностики выбор между открытым и эндоваскулярным лечением до сих пор не объективизирован, т. к. нет стандартных подходов к применению КТА, отсутствуют модели интерпретации полученных изображений [10]. При проведении КТА отсутствуют алгоритмы сканирования, что порождает множество сложностей при тиражировании технологий. Так, многие учреждения выполняют КТА только грудной аорты или только брюшной аорты при ее патологии даже в период подготовки к операции. Учитывая системность атеросклероза и необходимость всесторонней оценки аорты перед операцией на всем протяжении, сканирование аорты с оценкой устьев артерий, отходящих от дуги, анализ подвздошных артерий и проксимальных отделов бедренных артерий являются более чем обоснованными. Имеющиеся возможности по анализу полученных КТА изображений используются недостаточно. Так, при применении ЭКГ синхронизации, которая является неотъемлемой частью исследования в случае патологии аортального

клапана, корня аорты или восходящей аорты, возможно оценить деформацию аортальной стенки в сердечный цикл [3]. При оценке полученных КТА изображений, по данным нашей работы, важно детально анализировать структурные изменения аортальной стенки, что потенциально может оказать влияние на конкретизацию показаний к выбору типа лечения и планирование хирургического вмешательства.

Технологии МРТ позволяют оценить биомеханические свойства сосудистой стенки и состояние микроциркуляции, они широко представлены в современном оборудовании [9]. Жесткость аортальной стенки подвергается изучению уже длительное время, но трансляции технологии в клиническую практику до сих пор не произошло. Возможно, это связано с отсутствием стандартов применения МРТ.

Несмотря на возможности, роль УЗИ, КТ и даже МРТ на сегодняшний день сводится лишь к диагностике степени стеноза [10]. Есть технологии использования ПЭТ для изучения патологии сосудистой стенки, но с учетом малой распространенности и ограниченности ресурсов современного здравоохранения в ближайшие годы широкого применения этот метод не получит [5].

В учреждениях, которые оснащены не только КТ, но и МРТ, и могут выполнять эндоваскулярные вмешательства, а также при биотехническом моделировании целесообразно использовать возможности МРТ.

Детальный анализ аортальной стенки по данным КТА с последующим МРТ-анализом в сложных случаях может быть весомым фактором при определении объема оперативного лечения. В рамках одного МРТ исследования возможно оценить степень стеноза,

структурные изменения аортальной стенки, оценить признаки нестабильности атеросклеротической бляшки и провести количественную оценку жесткости. Эти же факты открывают широкие перспективы для биотехнического моделирования.

Аспекты, которые определены в данной работе, необходимо изучать в дальнейшем в многоцентровых проспективных исследованиях. В связи с этим представляет очевидный интерес связь биомеханических факторов, уровня биохимических маркеров воспаления и повреждения сосудистой стенки у разных групп пациентов. При развитии персонализированной медицины возникает необходимость учета эластичности тканей сосудистой стенки с созданием для каждого пациента своей модели для определения типа оперативного вмешательства, его объема, объективного выбора типа медицинского изделия. Методически это требует принципиально более высокого уровня моделирования с междисциплинарным и межотраслевым взаимодействием на основе сочетания методов тензорного анализа упругих сред и совмещения полученных диагностических изображений с модельными.

Заключение

В работе выявлены как структурные, так и функциональные КТ и МРТ признаки, которые целесообразно использовать в клинической практике для принятия решения об оперативном лечении. При биотехническом моделировании необходимо учитывать значимые ограничения УЗД пациентов с атеросклерозом, что является серьезным препятствием при применении этого метода. Перспективным является более широкое применение МРТ как в клинической практике, так и при биотехническом моделировании при атеросклеротическом поражении сосудистого русла.

Литература/References

1. Ясакова Е.П., Пыхтеев В.С., Белаш С.А. и др. Мультиспиральная компьютерная томография в диагностике пациентов с патологией восходящего отдела аорты в до- и послеоперационном периоде. *Лучевая диагностика и терапия*. 2018;(3):28–35. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-3-28-35>
- Yasakova EP, Pykhteev VS, Belash SA, et al. Multispiral computer tomography in diagnostics of patients with the pathology of ascending department of the aorta in before and postoperative period. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2018;(3):28–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2018-9-3-28-35>
2. Стахнева Е.М., Мещерякова И.А., Демидов Е.А. и др. Сравнение белкового состава атеросклеротических бляшек коронарных артерий на разных стадиях развития. *Молекулярная медицина*. 2021;5:58–64. <https://doi.org/10.29296/24999490-2021-05-09>
- Stakhneva EM, Mescheryakova IA, Demidov EA, et al. A comparison of the protein composition from coronary atherosclerotic plaque at different stages of development. *Molecular medicine*. 2021;5:58–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.29296/24999490-2021-05-09>

3. Скрипник А.Ю., Фокин В.А., Мирончук Р.Р. и др. Оценка эластических характеристик стенки восходящего отдела аорты при помощи компьютерно-томографической ангиографии в режиме электрокардиографической синхронизации с расширенной постпроцессорной обработкой данных. *Российский кардиологический журнал*. 2019;24(12):48–54. <http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-48-54>
- Skrpnik AYU, Fokin VA, Mironchuk RR, et al. Assessment of the elastic properties of the ascending aorta using electrocardiographic synchronized computed tomography angiography with advanced data processing. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(12):48–54. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-48-54>
4. Усов В.Ю., Игнатенко Г.А., Берген Т.А. и др. Вычислительная оценка механоэластических свойств и парамагнитного контрастного усиления стенки восходящей аорты при остром инфаркте и некоронарных повреждениях миокарда, по данным динамической ЭКГ-синхронизированной МР-томографии (МР-эластометрии). *Трансляционная медицина*. 2021;8(6):43–58. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2021-6-43-58>
- Usov VYu, Ignatenko GA, Bergen TA, et al. Computational evaluation of mechano-elastic properties and of paramagnetic contrast enhancement of thoracic aortic wall in acute myocardial infarction and in non-coronarygenic myocardial damage, from the data of dynamic ECG-gated MRI (MR-elastometry). *Translational Medicine*. 2021;8(6):43–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2021-6-43-58>
5. Голухова Е.З., Шавман М.Г., Шурупова И.В. и др. Характеристика миокардиального кровотока и коронарного резерва по данным ПЭТ/КТ у пациентов с ИБС с различной степенью стенозов коронарных артерий. *REJR*. 2021;11(3):67–83. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-3-67-83>
- Golukhova EZ, Shavman MG, Shurupova IV, et al. Characteristics of myocardial blood flow and coronary flow reserve by PET/CT in patients with coronary artery disease with different degrees of coronary artery stenosis. *REJR*. 2021;11(3):67–83. (In Russ.). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-3-67-83>
6. Пак Н.Т., Кобелев Е., Усов В.Ю. и др. Оценка выраженности атеросклеротической дегенерации стенки дуги аорты методом компьютерно-томографической ангиографии для прогнозирования риска острых сосудистых событий у пациентов со стенозами сонных артерий в раннем послеоперационном периоде. *Креативная кардиология*. 2022;16(1):77–91. <https://doi.org/10.24022/1997-3187-2022-16-1-77-91>
- Pak NT, Kobelev E, Usov VYu, et al. Evaluation of the severity of atherosclerotic degeneration of the aortic arch wall using computed tomographic angiography to predict the risk of stroke in patients with carotid stenosis in the early postoperative period. *Creative Cardiology*. 2022;16(1):77–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.24022/1997-3187-2022-16-1-77-91>
7. Усов В.Ю., Плотников М.П., Дель О.А. и др. МР-томография аортальной стенки с парамагнитным контрастным усилением в оценке эффективности длительного применения мексидола при атеросклерозе аорты. *Вестник новых медицинских технологий*. 2018;25(1):125–132. <http://dx.doi.org/10.24411/1609-2163-2018-15973>
- Usov VYu, Plotnikov MP, Del OA, et al. Contrast-enhanced MRI of the aortic wall in the efficiency evaluation of ethylmethylhydroxypyridine succinate (mexidol) long-term use to prevent aortic atherosclerosis progression. *Journal of new medical technologies*. 2018;25(1):125–132. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.24411/1609-2163-2018-15973>
8. Врублевский А.В., Бощенко А.А., Богданов Ю.И. Возможности и ограничения трехмерной чреспищевойной

эхокардиографии в диагностике атеросклероза грудного отдела аорты. *Кардиология*. 2019;59(10S):22–30. <http://doi.org/10.18087/cardio.n692>

Vrublevsky AV, Boshchenko AA, Bogdanov YuI. Possibilities and limitations of three-dimensional transesophageal echocardiography in the diagnosis of thoracic aorta atherosclerosis. *Cardiology*. 2019;59(10S):22–30. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18087/cardio.n692>

9. Васюк Ю.А., Иванова С.В., Школьник Е.Л. и др. Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2016;15(2):4–19. <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2016-2-4-19>

Vasyuk YuA, Ivanova SV, Shkolnik EL, et al. Consensus of Russian experts on the evaluation of arterial stiffness in clinical practice. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2016;15(2):4–19. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2016-2-4-19>

10. Прямыков А.Д., Миронков А.Б., Хрипун А.И. Хирургическое лечение тандемных стенозов экстринатранскариальных отделов внутренней сонной артерии. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2021;25(3):20–26. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2021-3-20-26>

Pryamikov AD, Mironkov AB, Khripun AI. Surgical treatment of tandem stenosis of the internal carotid artery. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2021;25(3):20–26. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2021-3-20-26>

Сведения об авторах

Берген Татьяна Андреевна, д. м. н., заведующая научно-исследовательским отделом лучевой и инструментальной диагностики, профессор отдела высшего и дополнительного профессионального образования, врач-рентгенолог, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (Новосибирск, Россия). <http://orcid.org/0000-0003-1530-1327>

Зяблова Елена Игоревна, к. м. н., заведующая рентгеновским отделением, Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; заведующая кафедрой лучевой диагностики № 2 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <http://orcid.org/0000-0002-6845-5613>

Таркова Александра Романовна, к. м. н., врач функциональной диагностики, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела лучевой и инструментальной диагностики, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (Новосибирск, Россия). <http://orcid.org/0000-0002-4291-6047>

Кобелев Евгений, научный сотрудник научно-исследовательского отдела лучевой и инструментальной диагностики, врач-рентгенолог, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (Новосибирск, Россия). <http://orcid.org/0000-0002-5901-2271>

Носуля Ирина Григорьевна, врач-рентгенолог, Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; ассистент кафедры лучевой диагностики № 2 ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-0572-2075>

Пак Наталья Тихоновна, к. м. н., научный сотрудник научно-исследовательского отдела лучевой и инструментальной диагностики, врач-рентгенолог, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (Новосибирск, Россия). <http://orcid.org/0000-0002-7842-9881>

Синицын Валентин Евгеньевич, д. м. н., профессор кафедры многопрофильной клинической подготовки,

заведующий курсом лучевой диагностики и лучевой терапии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия). <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>

Чернявский Александр Михайлович, д. м. н., профессор, член-корреспондент РАН, генеральный директор, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (Новосибирск, Россия). <http://orcid.org/0000-0001-9818-8678>

Усов Владимир Юрьевич, д. м. н., профессор, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (Томск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания Минздрава России (№: 121032300337-5), проекта «Новая технология протезирования грудной аорты и ее ветвей оригинальным комбинированным гибридным протезом с бесшовными соединениями», поддержанного Российским научным фондом (№ 22-15-20005)

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: Мы благодарим директора Института экспериментальной биологии и медицины ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России профессора, д. м. н. Ирину Юрьевну Журавлеву за возможность проведения этой работы.

Author credentials

Tatiana A. Bergen, Dr. Sci. (Med.), Head of the Research Department of Radiology and Instrumental Diagnostics, Professor of the Department of Higher and Additional Professional Education, Radiologist, Meshalkin National Medical Research Center (Novosibirsk, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0003-1530-1327>

Elena I. Zyablova, Cand. Sci. (Med.), Head of Radiology Department, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1; Head of Radiodiagnosis Department no. 2, Faculty of Advanced Training and Professional Retraining of Specialists, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-6845-5613>

Alexandra R. Tarkova, Cand. Sci. (Med.), Doctor of Functional Diagnostics, Leading Researcher, Research Department of Radiology and Instrumental Diagnostics, Meshalkin National Medical Research Center (Novosibirsk, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-4291-6047>

Evgeny Kobleev, Junior Researcher, Research Department of Radiology and Instrumental Diagnostics, Radiologist, Meshalkin National Medical Research Center (Novosibirsk, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-5901-2271>

Irina G. Nosulya, Radiologist, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1; Assistant, Radiodiagnosis Department no. 2, Faculty of Advanced Training and Professional Retraining of Specialists, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-0572-2075>

Natalya T. Pak, Cand. Sci. (Med.), Researcher, Research Department of Radiology and Instrumental Diagnostics, Radiologist, Meshalkin National Medical Research Center (Novosibirsk, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-7842-9881>

Valentin E. Sinitsyn, Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Multidisciplinary Clinical Training, Head of the Course of Radiology and Radiation Therapy, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia). <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>

Alexander M. Chernyavsky, Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, General Director of the Meshalkin National Medical Research Center (Novosibirsk, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0001-9818-8678>

Vladimir Yu. Usov, Dr. Sci. (Med.), Professor, Leading Researcher, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of The Russian Academy of Science, National Research Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russia). <http://orcid.org/0000-0002-7352-6068>

Funding: *The study was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Health of Russia (No. 121032300337-5), the project “New technology for prosthetics of the thoracic aorta and its branches with an original combined hybrid prosthesis with seamless connections”, supported by the Russian Science Foundation (No. 22-15-20005)*

Conflict of interest: *none declared.*

Acknowledgments: *We thank the director of the Institute of Experimental Biology and Medicine of the Federal State Budgetary Institution “Meshalkin National Medical Research Center” of the Ministry of Health of Russia Professor, Dr. Sci. (Med.) Irina Yu. Zhuravleva for making this work possible.*