

ISSN 2311-4495

ISSN 2410-5155 (Online)

УДК 616.13-089.843:620.1

<https://doi.org/10.18705/2311-4495-2026-13-2-132-139>

Радиальная сила грудных эндопротезов: экспериментальное исследование механических свойств и возможные клинические импликации

Т. Н. Хафизов¹, В. В. Катаев¹, И. М. Еникеев¹, Т. Э. Имаев²

¹ Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Республиканский кардиологический центр», Уфа, Россия

² Институт клинической кардиологии имени А. Л. Мясникова Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е. И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

Контактная информация:

Катаев Валентин Валерьевич,

ГБУЗ РКЦ,

ул. Степана Кувыкина, д. 96, Уфа, Россия, 450106.

E-mail: valentin.kataev@inbox.ru

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Эндопротезирование грудной аорты в настоящее время характеризуется активным развитием и расширением спектра клинических показаний. К ним относятся расслоение аорты типа В по классификации Stanford, поражение дуги аорты (не-А, не-В тип) с применением эндоваскулярных и гибридных методик (включая дебраншинг), а также аневризмы, пенетрирующие атеросклеротические язвы и разрывы грудной аорты. **Цель исследования.** Изучить механические характеристики различных типов стент-графтов и оценить их возможное клиническое значение. **Материалы и методы.** В исследование включены два типа грудных эндопротезов, представленных на отечественном рынке медицинских изделий, различающихся типом покрытия: политетрафторэтиленовым (ПТФЭ) и полиэстеровым. Учитывая, что при планировании эндопротезирования с целью обеспечения герметичности применяется оверсайзинг (превышение диаметра эндопротеза относительно нативного сосуда), проведена экспериментальная оценка степени радиального сжатия стент-графтов с использованием механического пресса. Оценивалась сила, необходимая для деформации устройств, как косвенный показатель радиальной силы, действующей на стенку аорты. **Результаты.** Установлено, что минимальные значения радиальной силы характерны для проксимальных непокрытых сегментов эндопротезов с последующим ее увеличением в дистальном направлении покрытой части эндопротеза. Максимальные значения давления зарегистрированы у стент-графта с монофиламентным полиэстеровым покрытием в дистальных отделах, тогда как минимальные – у устройства с ПТФЭ-покрытием в проксимальной зоне. **Заключение.** Радиальная нагрузка в области покрытых сегментов стент-графта превышает таковую в непокрытой проксимальной части. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности позиционирования проксимального отдела эндопротеза в максимально неизменном участке аорты с целью снижения риска развития осложнений.

Ключевые слова: механические свойства эндопротезов, осложнения эндопротезирования, оверсайзинг, политетрафторэтилен, полиэстер, радиальная сила, ретроградное расслоение, стент-графт

Для цитирования: Хафизов Т. Н., Катаев В. В., Еникеев И. М., Имаев Т. Э. Радиальная сила грудных эндопротезов: экспериментальное исследование механических свойств и возможные клинические импликации. *Трансляционная медицина*. 2026;13(2):132–139. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2026-13-2-132-139>; <https://elibrary.ru/aooubk>

Radial force of thoracic stent graft: an experimental study of mechanical properties and potential clinical implications

Timur N. Khafizov¹, Valentin V. Kataev¹, Ilnur M. Enikeev¹, Timur E. Imaev²

¹ State Budgetary Healthcare Institution “Republican Cardiology Center”, Ufa, Russia

² Institute of Clinical Cardiology named after A. L. Myasnikov of the National Medical Research Center for Cardiology named after academician E. I. Chazov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

Corresponding author:

Valentin V. Kataev,
Republican Cardiology Center,
96 Stepan Kuvykin str., Ufa, Russia, 450106.
E-mail: valentin.kataev@inbox.ru

ABSTRACT

Relevance. Thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) is rapidly evolving, with expanding clinical indications. These include Stanford type B aortic dissection, aortic arch pathology (non-A, non-B type) managed with endovascular and hybrid techniques (including debranching), as well as aneurysms, penetrating atherosclerotic ulcers, and thoracic aortic ruptures. **Objective.** To investigate the mechanical properties of different types of stent grafts and to assess their potential clinical implications. **Materials and Methods.** The study included two types of thoracic endografts available on the available commercially medical device market, differing by graft material: polytetrafluoroethylene (PTFE) and polyester. Considering that oversizing (i.e., selecting an endograft diameter exceeding that of the native vessel) is used during procedural planning to ensure sealing, an experimental assessment of the degree of radial compression of stent grafts was performed using a mechanical press. The force required to deform the devices was evaluated as an indirect indicator of radial force on the aortic wall. **Results.** Minimal radial force values were observed in the proximal uncovered segments of the endografts, followed by an increase toward the distal direction within the covered portion. The radial force values were recorded in the distal segments of the stent graft with monofilament polyester covering, whereas the lowest values were observed in the proximal region of the PTFE-covered device. **Conclusion.** Radial load in the covered segments of the stent graft exceeds that in the uncovered proximal portion. This finding supports the need to position the proximal part of the endograft within the least diseased segment of the aorta to reduce the risk of complications.

Keywords: mechanical properties of endografts, complications of endovascular repair, oversizing, polytetrafluoroethylene, polyester, radial force, retrograde dissection, stent graft

For citation: Khafizov TN, Kataev VV, Enikeev IM, Imaev TE. Radial force of thoracic stent graft: an experimental study of mechanical properties and potential clinical implications. *Translational Medicine*. 2026;13(2):132–139. (In Russ.) <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2026-13-2-132-139>; <https://elibrary.ru/aouubk>

ВВЕДЕНИЕ

Эндопротезирование грудной аорты в настоящее время демонстрирует устойчивую тенденцию к расширению показаний и широкому внедрению в клиническую практику. Расслоение аорты типа В по классификации Stanford преимущественно лечится с применением эндоваскулярных методик. При поражении дуги аорты (не-А, не-В тип) [1] используются как эндоваскулярные технологии, так и открытые вмешательства с дебраншином и последующим эндопротезированием. Кроме того, аневризмы, пенетрирующие атеросклеротические язвы и разрывы грудной аорты, в настоящее время все чаще являются показанием к эндоваскулярному лечению, что обусловлено меньшей инвазивностью вмешательства, сокращением длительности пребывания в отделении реанимации и уменьшением сроков реабилитации пациентов [2]. Вместе с тем увеличение количества выполняемых эндоваскулярных вмешательств сопровождается ростом частоты как ранних, так и отдаленных осложнений, нередко требующих повторных, в том числе открытых, хирургических операций. Согласно современным европейским рекомендациям по лечению заболеваний аорты, минимальная длина проксимальной посадочной зоны («шейки») должна составлять не менее 20 мм, что обеспечивает адекватную фиксацию эндопротеза [3], при этом подчеркивается необходимость индивидуализированной оценки анатомических особенностей пациента; при наличии короткой проксимальной зоны рекомендуется применение фенестрированных или браншированных стент-графтов.

Одним из наиболее серьезных осложнений эндопротезирования грудной аорты является ретроградное проксимальное расслоение (proximal stent-induced new entry, pSINE). По данным зарубежных исследований, частота этого осложнения составляет около 2,5 %, при этом летальность достигает 37,1 % [4]. В нашем центре в период с 2013 по 2025 гг. выполнено 127 эндоваскулярных вмешательств на грудной аорте. При ретроспективном анализе медицинской документации развитие pSINE зарегистрировано у 4 пациентов (3,15 %), из которых два были прооперированы открытым способом, консервативное лечение не применялось, летальный исход отмечен в 2 случаях. Отсутствие эффективных эндоваскулярных методов коррекции данного осложнения обуславливает необходимость выполнения экстренных открытых вмешательств, что ассоциировано с высоким операционным риском и увеличением летальности.

Целью настоящего экспериментального исследования явилось изучение механических характеристик различных типов стент-графтов и формулирование

гипотезы о возможном клиническом использовании полученных данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены два варианта грудных эндопротезов, доступных на отечественном рынке и различающихся типом покрытия: стент-графт № 1 с покрытием из политетрафторэтилена (ПТФЭ) и стент-графт № 2 с монофиламентным полиэстеровым покрытием. Проксимальные диаметры устройств составили 40 мм и 36 мм соответственно. Сравнение абсолютных значений силы сжатия между стент-графтами разного диаметра является некорректным, однако в данном эксперименте основное внимание уделено профилю распределения силы вдоль длины каждого устройства по отдельности. Экспериментальная установка включала размещение стент-графта на электронных весах с последующим обнулением показаний. Для локализованного воздействия на структурные элементы устройства использовалась тонкая металлическая пластина: стальная, прямоугольная, размером 5×20 мм, толщиной 1 мм, рабочая кромка прямолинейная (рис. 1, а), устанавливаемая в области короны стент-графта. Давление осуществлялось с помощью пресса (пресс ручной винтовой ПРВ02), оснащенного часовым индикатором (рис. 1, б), позволяющим регистрировать величину перемещения с точностью до 1 мм. Условия испытания: температура воздуха 22 ± 1 °С, стент-графты в сухом виде (без погружения в жидкость) фиксировались в горизонтальном положении, пластина устанавливалась перпендикулярно оси устройства по центру каждой метки. Сжатие производилось на 10 мм (10 оборотов индикатора), что соответствовало уменьшению диаметра эндопротеза на указанную величину. При этом регистрировалась сила, необходимая для деформации конструкции, выраженная в граммах по показаниям весов. Полученные результаты следует рассматривать как дескриптивное наблюдение, а не как статистически подтвержденные различия.

Каждый из исследуемых протезов был предварительно маркирован в области металлических спиралей для стандартизации точек приложения нагрузки (рис. 2, а, б).

Результаты исследования продемонстрировали неоднородность распределения радиальной силы вдоль длины стент-графтов (рис. 3 и 4). Установлено, что минимальная радиальная сила характерна для проксимального непокрытого сегмента. В области короны (зона позиционирования эндопротеза), предназначенной для имплантации в интактный участок аорты, регистрируется увеличение радиальной силы. В дистальном направлении

(метки №№ 3–6 и далее) отмечается прогрессивный рост радиальной силы.

Представленные графики демонстрируют, что у стент-графта № 1, большего диаметра, кривые в целом ниже, чем у стент-графта № 2. Это объясняется тем, что при одинаковой величине сжатия развивается разная радиальная сила (у стент-графта меньшего диаметра она больше, при большем диаметре – меньше) согласно формуле радиальной жесткости кольца:

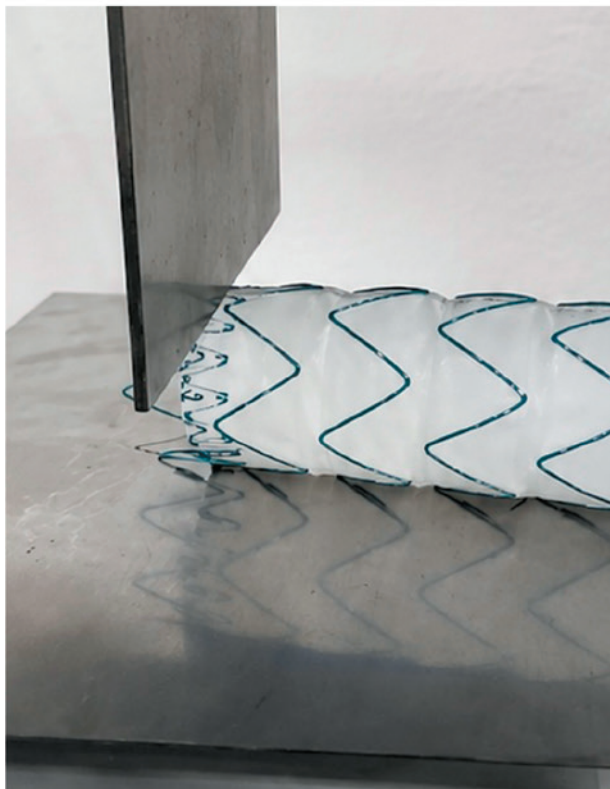
$$k = \frac{N \cdot E \cdot I}{R^3},$$

где k – радиальная жесткость кольца (г/мм), N – количество изгибов металлической балки стент-графта, E – упругость нитинола, I – инерция сечения проволоки, R – радиус протеза.

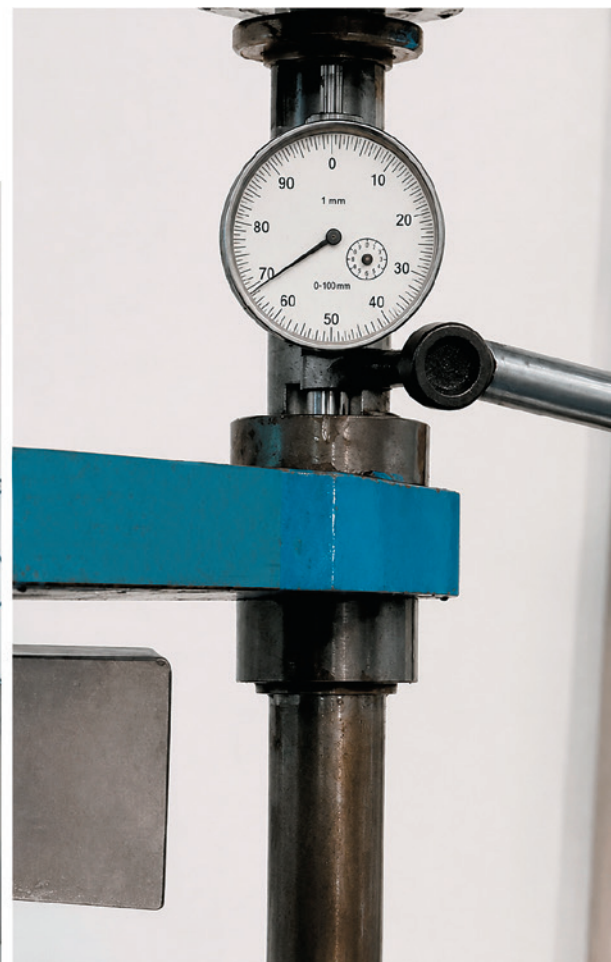
Данный механизм применим и с клинической точки зрения. При одинаковом оверсайзинге – стент-графт меньшего диаметра будет оказывать большую радиальную силу на стенку аорты, что при ошибках в замерах может вызывать развитие проксимального ретроградного расслоения [8, 9].

Также необходимо отметить, что для проксимального позиционирования наиболее важная часть эндопротеза – первые 3 метки. Согласно полученным данным, мы видим, что у стент-графта № 1, большего диаметра, кривые в целом ниже, чем у стент-графта № 2, это объясняется ранее описанным законом.

Наиболее показательны также и первые 3 мм сжатия: у стент-графта № 2 радиальная сила набирается значительно быстрее, чем у стент-графта № 1,



а



б

Рис. 1. а) Пластина (размеры пластины 5×20 мм, толщина 1 мм, материал – сталь) установлена в область короны перпендикулярно оси стент-графта; б) Часовой индикатор пресса (марка пресса ПРВ02), служащий для измерения перемещения (точность 1 мм, цена деления 1 мм)

Fig. 1. а) A plate (dimensions 5×20 mm, thickness 1 mm, material: steel) was placed in the crown region perpendicular to the axis of the stent-graft; б) A dial indicator on the press (press model PRV02) used to measure displacement (accuracy 1 mm, scale division 1 mm)

что говорит о более агрессивной начальной радиальной силе, это можно использовать в случаях риска миграции эндопротеза.

ОБСУЖДЕНИЕ

Последние годы аорта рассматривается как отдельный орган человека со своими законами, механикой и патологией [10]. Зарубежные авторы указывают на необходимость приравнивать аорту к таким органам, как сердце, легкие или мозг. Многие экспериментальные данные по биомеханике аорты демонстрируют, что измененные ее участки наиболее подвержены повреждениям, особенно при воздействии извне.

Исследователи показывают, что локальные напряжения сдвига сосудистой стенки (WSS) в измененной атеросклеротической стенке могут вызвать разрывы бляшек, что в дальнейшем может привести к развитию острого аортального синдрома [11].

Также имеются данные о создании биомеханической модели аорты, которая может прогнозировать риск развития аневризм или расслоений у конкретного пациента. Авторы разработали реалистичную модель взаимодействия жидкости и структуры в условиях реального кровотока, с учетом трехмерной геометрии аорты, многослойности артериальной стенки, физиологических профилей скорости крови, изменяющихся

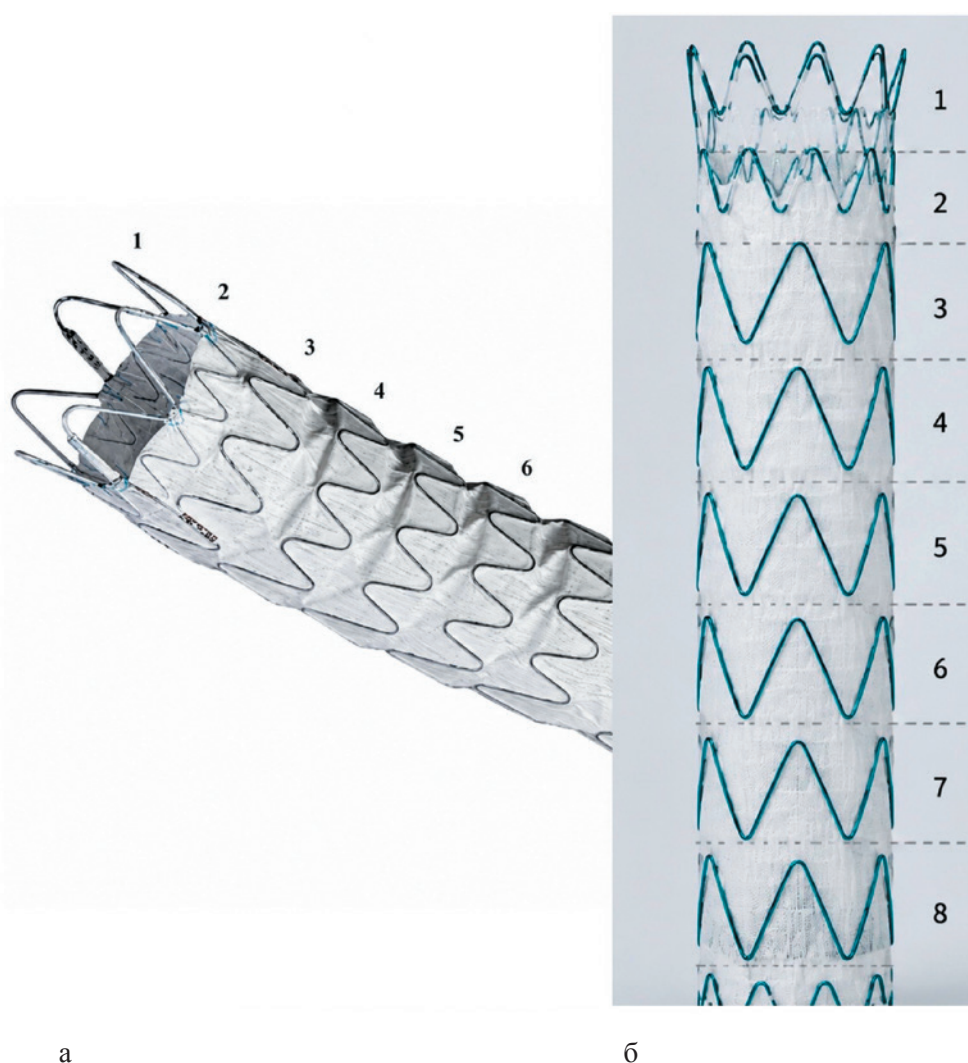


Рис. 2. Метки стент-графта: а) ПТФЭ: 1 – спираль без покрытия; 2 – корона; 3 – 1-я большая спираль; 4 – 2-я большая спираль; 5 – 3-я большая спираль; 6 – 4-я большая спираль; б) полиэстер: 1 – спираль без покрытия; 2 – корона; 3 – 1-я большая спираль; 4 – 2-я большая спираль; 5 – 3-я большая спираль; 6 – 4-я большая спираль; 7 – 5-я большая спираль; 8 – 6-я большая спираль

Fig. 2. Stent-graft markers: а) PTFE: 1 – uncovered spiral; 2 – crown; 3 – 1st large spiral; 4 – 2nd large spiral; 5 – 3rd large spiral; 6 – 4th large spiral; б) polyester: 1 – uncovered spiral; 2 – crown; 3 – 1st large spiral; 4 – 2nd large spiral; 5 – 3rd large spiral; 6 – 4th large spiral; 7 – 5th large spiral; 8 – 6th large spiral

во времени *in vivo*, и неньютоновского поведения крови. Результаты исследования показывают, что WSS тесно связано с характером кровотока. Область дуги аорты вблизи брахиоцефальной и левой общей сонной артерии подвержена разрыву, что хорошо согласуется

с клиническими данными [12]. Испытания радиальной силы стент-графтов стандартизированы согласно документам ISO 25539-1 (Сосудистые эндопротезы) и ASTM F3152 (Test Method for Determining Radial Resistive Force of Self-Expanding Vascular Stents).

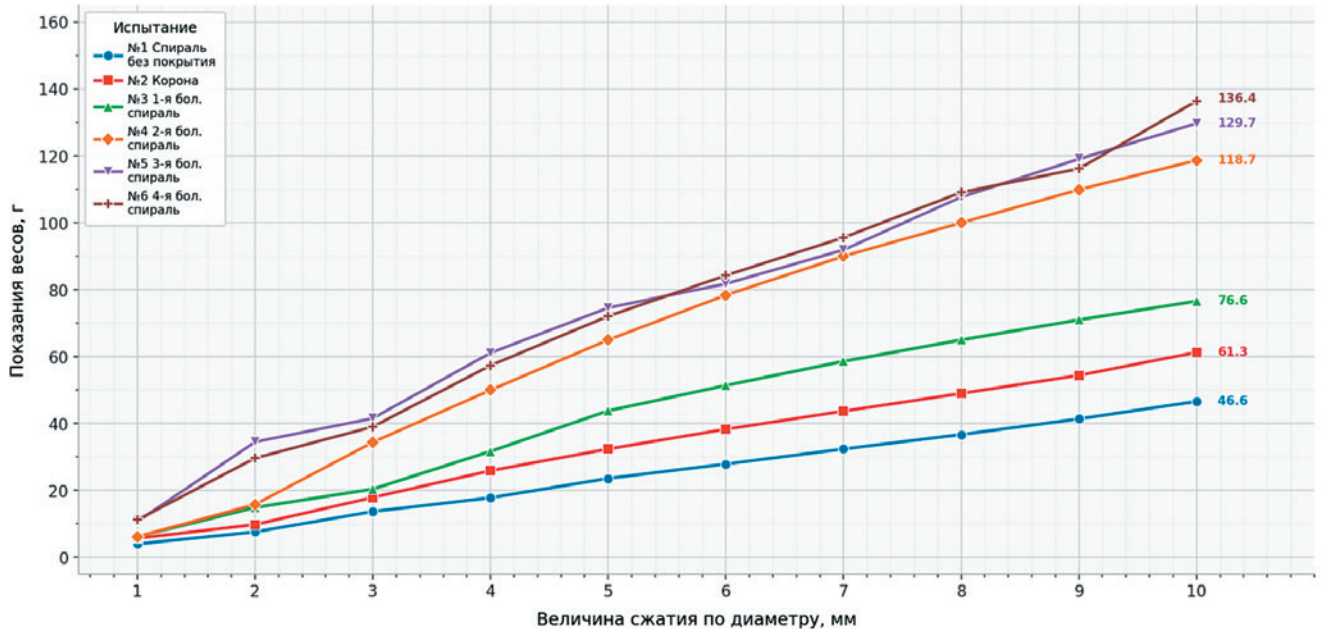


Рис. 3. Сила сжатия стент-графта № 1 с ПТФЭ-покрытием

Fig. 3. Compression force of stent-graft No. 1 with PTFE coating

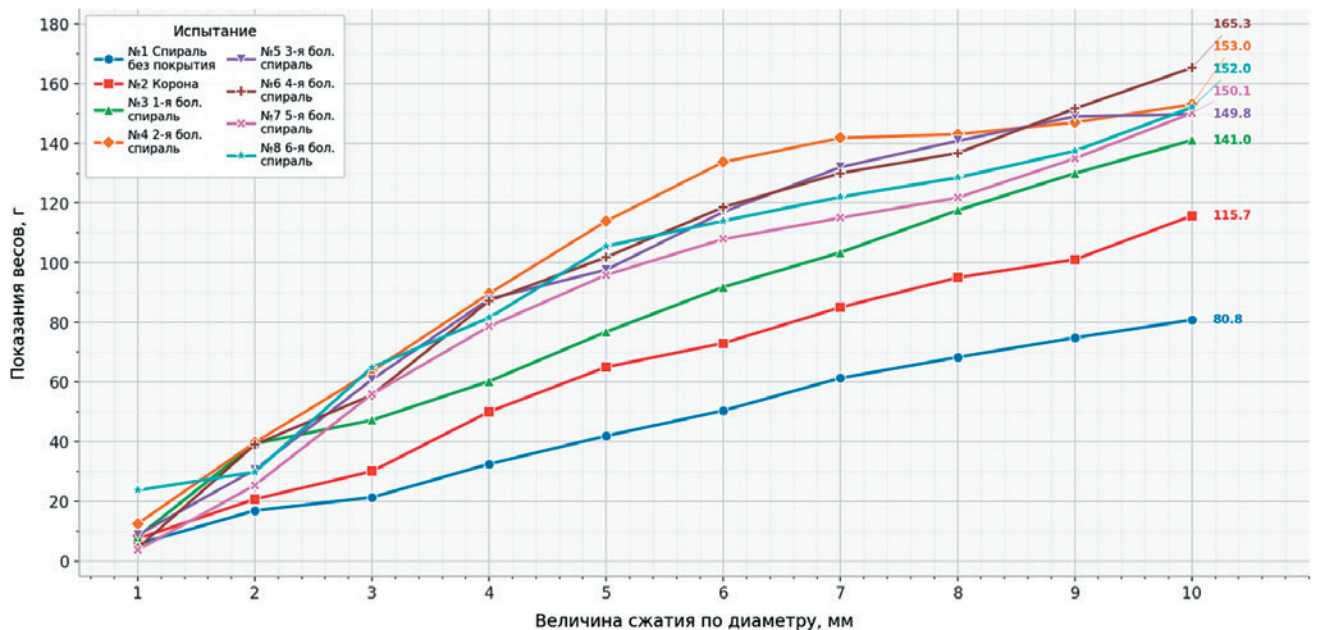


Рис. 4. Сила сжатия стент-графта № 2 с монофиламентным (полиэстер) покрытием

Fig. 4. Compression force of stent-graft No. 2 with monofilament (polyester) coating

Согласно этим документам, испытания проводятся в цилиндрическом пуансоне или при равномерном цилиндрическом сжатии. Наш упрощенный эксперимент позволяет сравнить относительную жесткость разных сегментов одного устройства.

Указанные факты подтверждают на необходимость более подробного изучения воздействия эндопротеза на стенку аорты и его последствий.

Результаты нашего эксперимента позволяют нам предположить, что радиальная сила, которая возникнет при оверсайзинге стент-графта, будет оказывать сопоставимое действие на стенку измененной аорты. Оверсайзинг в клинической практике необходим для адекватной герметизации протеза и аортальной стенки, профилактики эндопротечек I типа, миграции устройства и прогрессирования аневризматического процесса [6, 5].

При этом величину оверсайзинга следует строго контролировать: при расслоении аорты она не должна превышать 10 %, а при аневризмах и пенетрирующих язвах должна составлять, как правило, 3–7 мм. Превышение данных значений приводит к избыточному механическому воздействию на измененную сосудистую стенку, увеличивая риск разрыва аорты, формирования новых фенестраций, эндопротечек и развития pSINE [7].

Ограничения исследования: малый объем выборки, отсутствие повторных измерений, лабораторный характер (без имитации температуры крови, пульсации аорты), метод нагрузки локальным сжатием, сравнение протезов разного диаметра.

ВЫВОДЫ

Установлено, что максимальные значения радиальной силы характерны для дистальных сегментов стент-графта с полиэстеровым покрытием, тогда как минимальные – для проксимального отдела устройства с ПТФЭ-покрытием. Разница радиальной силы составила 1,9 г в первом покрытом сегменте и 1,76 г в области непокрытой части. Сегменты, расположенные дистальнее короны, оказывают наибольшее механическое воздействие на стенку аорты, что может способствовать увеличению риска ее повреждения и развития ретроградного расслоения при имплантации в патологически измененные участки.

Полученные данные позволяют выдвинуть гипотезу о том, что увеличение оверсайзинга у эндопротезов малого диаметра может повышать риск осложнений. Это требует дальнейших исследований. Выявленные механические особенности стент-графтов целесообразно учитывать при предоперационном планировании лечения пациентов с патологией дуги и нисходящего отдела аорты.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Соответствие нормам этики / Compliance with ethical principles

Авторы заявляют об отсутствии использования генеративного искусственного интеллекта. / The authors declare no use of Generative AI in the preparation of this manuscript.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Koechlin L, Schuerpf J, Bremerich J, et al. Acute aortic dissection with entry tear at the aortic arch: long-term outcome. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2021;32(1):89–96. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivaa228>
2. Белов Ю. В., Карпенко А. А., Лысиков Д. А., Вачев А. Н. Состояние сосудистой хирургии в Российской Федерации в 2024 г. *Ангиология и сосудистая хирургия. Журнал имени академика А. В. Покровского*. 2025;31. Спецвыпуск. <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2025-31-suppl>
3. Belov YuV, Karpenko AA, Lysikov DA, Vachev AN. State of vascular surgery in the Russian Federation in 2024. *Angiology and Vascular Surgery. Journal named after Academician A. V. Pokrovsky*. 2025;31(Spec. Iss). (In Russ.) <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2025-31-suppl>
4. Frank M, Aboyans V, Berwick Z, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of peripheral arterial and aortic diseases. *Eur Heart J*. 2024;45(36):3538–3637. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae179>
5. Chen Y, Zhang S, Liu L, et al. Retrograde type A aortic dissection after thoracic endovascular aortic repair: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc*. 2017;6(9):e004649. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.004649>
6. Bose S. Proper sizing of aortic endografts from bench to bedside. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*. 2023;9(3):101196. <https://doi.org/10.1016/j.jvscit.2023.101196>
7. Дерябин С. В., Чупин А. В., Колосов Р. В. и др. Аневризма брюшной аорты: периоперационная рентгеноконтрастная диагностика (анализ литературы). *Доктор. Ру. Гастроэнтерология*. 2016;1(118):100–103. <https://www.elibrary.ru/vpilut>
8. Deryabin SV, Chupin AV, Kolosov RV, et al. Abdominal aortic aneurysm: using radiopaque diagnostic agents before and after surgery – literature analysis. *Doctor.Ru. Gastroenterology*. 2016;1(118):100–103. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/vpilut>
9. Абросимов А. А., Яменсков В. В., Образцов А. В. и др. Поздние хирургические конверсии после эндопротезирования аневризмы брюшной аорты. *Ангиология и сосудистая хирургия. Журнал имени академика А. В. Покровского*. 2023;29(4):88–94. <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2023-29-4-88-94>
10. Abrosimov AA, Yamenskov VV, Obratsov AV, et al. Late surgical conversions after endovascular aneurysm repair of

abdominal aorta. *Angiology and Vascular Surgery. Journal named after Academician A. V. Pokrovsky*. 2023;29(4):88–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.33029/1027-6661-2023-29-4-88-94>

8. Rynio P, Kazimierczak A, Gutowski P, Cnotliwy M. An unusual case of aortic rupture after deployment of a bare stent in the treatment of aortic dissection in a patient with giant-cell arteritis. *Wideochir. Inne Tech. Maloinwazyjne*. 2017;12(2):S.194–198. <https://doi.org/10.5114/wiitm.2017.67677>

9. Alberta HB, Secor JL, Smits TC, et al. Comparison of thoracic aortic diameter changes after endograft placement in patients with traumatic and aneurysmal disease. *J Vasc Surg*. 2014;59:1241–1246. <https://doi.org/10.5114/wiitm.2017.67677>

10. Czerny M, Grabenwoger M, Berger T, et al. EACTS/STS guidelines for diagnosing and treating acute and chronic syndromes of the aortic organ. *Ann Thorac Surg*. 2024;118(1):5–115. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2024.01.021>

11. Kojima K, Hiro T, Koyama Y, et al. High wall shear stress is related to atherosclerotic plaque rupture in the aortic arch of patients with cardiovascular disease: a study with computational fluid dynamics model and non-obstructive general angioscopy. *J Atheroscler Thromb*. 2021;28(7):742–753. <https://doi.org/10.5551/jat.56598>

12. Wang X, Ghayesh MH, Kotousov A, et al. Fluid-structure interaction study for biomechanics and risk factors in Stanford type A aortic dissection. *Int J Numer. Method Biomed. Eng*. 2023;39(8):e3736. <https://doi.org/10.1002/cnm.3736>

Информация об авторах:

Хафизов Тимур Назирович – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГБУЗ РКЦ, Уфа, Россия, khaftim@gmail.com, ORCID 0000-0002-3293-4452;

Катаев Валентин Валерьевич – врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, ГБУЗ РКЦ, Уфа, Россия, valentin.kataev@inbox.ru, ORCID 0000-0002-5005-2154;

Еникеев Ильнур Мугалиммович – врач-стажер отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, ГБУЗ РКЦ, Уфа, Россия, dotty535@gmail.com, ORCID 0000-0003-3802-967X;

Имаев Тимур Эмвярович – д-р мед. наук, руководитель лаборатории гибридных методов лечения сердечно-сосудистых заболеваний отдела сердечно-сосудистой хирургии

ИКК им. А. Л. Мясникова ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е. И. Чазова» Минздрава России, Москва, Россия, imaev.timur@mail.ru, ORCID 0000-0002-5736-5698.

Вклад авторов:

Хафизов Т. Н. – разработка концепции исследования, проведение исследования, пересмотр и редактирование рукописи; Катаев В. В. – проведение исследования, работа с данными, анализ и обобщение данных литературы; Еникеев И. М. – работа с данными, написание черновика; Имаев Т. Э. – пересмотр и редактирование рукописи.

Authors information:

Timur N. Khafizov, MD, PhD, Associate professor, Head of Department of X-ray Surgical Diagnostics and Treatment Methods, Republican Cardiology Center, Ufa, Russia, khaftim@gmail.com, ORCID 0000-0002-3293-4452;

Valentin V. Kataev, MD, Physician for X-ray Endovascular Diagnostics and Treatment, Department of X-ray Surgical Diagnostics and Treatment Methods, Republican Cardiology Center, Ufa, Russia, valentin.kataev@inbox.ru, ORCID 0000-0002-5005-2154;

Ilnur M. Enikeev, MD, Medical resident, Department of X-ray Surgical Diagnostics and Treatment Methods, Republican Cardiology Center, Ufa, Russia, dotty535@gmail.com, ORCID 0000-0003-3802-967X;

Timur E. Imaev, MD, PhD, Head of the Laboratory of Hybrid Treatment Methods for Cardiovascular Diseases, Department of Cardiovascular Surgery, Institute of Clinical Cardiology n. a. A. L. Myasnikov of the NMRC for Cardiology n. m. academician E. I. Chazov, Moscow, Russia, imaev.timur@mail.ru, ORCID 0000-0002-5736-5698.

Contribution of the authors:

Khafizov T. M. – development of the study concept, conducting the study, review and editing of the manuscript; Kataev V. V. – conducting the study, data handling, analysis and synthesis of the literature; Enikeev I. M. – data handling, drafting the manuscript; Imaev T. E. – review and editing of the manuscript.

Поступила в редакцию / Received: 08.03.2026

Принята к публикации / Accepted: 20.04.2026
