

Динамика сосудистой жесткости и центрального артериального давления после эндоваскулярной изоляции аневризмы аорты у пациентов с артериальной гипертензией. Результаты годичного наблюдения

Гуревич А. П., Емельянов И. В., Ионов М. В., Ванюркин А. Г., Чернявский М. А., Конради А. О.

Цель. Оценка динамики артериальной жесткости, центрального артериального давления (ЦАД) и определение потенциально влияющих на них факторов у пациентов с аневризмой нисходящего грудного и брюшного отделов аорты, в сочетании с артериальной гипертензией, через год после эндоваскулярной изоляции аневризмы аорты ((T)EVAR).

Материал и методы. Включались пациенты ≥ 18 лет без клинически значимых нарушений ритма сердца. До операции и через год выполнялось обследование: определение периферического артериального давления, частоты сердечных сокращений (ЧСС), ЦАД, индекса аугментации (Alx), давления в точке максимума подъема прямой пульсовой волны (PT1h), времени возврата отраженной волны (Tr) и каротидно-фemorальной скорости распространения пульсовой волны (кфСРПВ).

Результаты. Включено 50 пациентов (средний возраст 68 ± 9 лет, 41 мужчина, 16 — с аневризмой нисходящего грудного отдела аорты, 34 — с аневризмой брюшного отдела аорты), обследовано повторно 23 пациента. После (T)EVAR выявлено увеличение кфСРПВ ($+2,6$ м/с, $p < 0,001$), PT1h ($+5$ мм рт.ст., $p = 0,026$), периферического пульсового давления ($+7$ мм рт.ст., $p = 0,039$), ЧСС ($+5$ уд./мин, $p = 0,025$). Показатели ЦАД и Alx не изменились. Найдена зависимость снижения Tr от длины стент-графта ($\beta = 0,42$) и снижения ЧСС ($\beta = -0,52$). За год зарегистрировано 6 сердечно-сосудистых осложнений.

Заключение. Имплантация эндопротеза сопровождается повышением кфСРПВ вне зависимости от локализации аневризмы. Повышение PT1h через год после (T)EVAR может отражать снижение растяжимости аорты, ухудшение демпфирующей функции. Отсутствие динамики ЦАД, Alx, вероятно, объясняется особенностями отраженной волны после операции. Предикторы увеличения Tr — снижение ЧСС и имплантация более протяженных стент-графтов.

Ключевые слова: аневризма аорты, артериальная гипертензия, сосудистая жесткость, скорость распространения пульсовой волны, центральное артериальное давление, эндопротезирование аорты.

Отношения и деятельность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (соглашение № 23-25-00272 от 12.01.2023).

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия.

Гуревич А. П.* — м.н.с. научно-исследовательской лаборатории патогенеза и терапии артериальной гипертензии научно-исследовательского отдела "Артериальная гипертензия", ORCID: 0000-0002-1489-3618, Емельянов И. В. —

к.м.н., с.н.с. научно-исследовательской лаборатории патогенеза и терапии артериальной гипертензии научно-исследовательского отдела "Артериальная гипертензия", ORCID: 0000-0002-3176-0606, Ионов М. В. — к.м.н., н.с. научно-исследовательской лаборатории патогенеза и терапии артериальной гипертензии научно-исследовательского отдела "Артериальная гипертензия", ORCID: 0000-0002-3664-5383, Ванюркин А. Г. — н.с. НИО сосудистой и интервенционной хирургии, сердечно-сосудистый хирург, ORCID: 0000-0002-8209-9993, Чернявский М. А. — д.м.н., зав. научно-исследовательского отдела сосудистой и интервенционной хирургии, ORCID: 0000-0003-1214-0150, Конради А. О. — д.м.н., академик Российской академии наук, зам. генерального директора по научной работе, ORCID: 0000-0001-8169-7812.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): alexandra.gurevich@mail.ru

АА — аневризма аорты, АБА — аневризма брюшного отдела аорты, АГ — артериальная гипертензия, АД — артериальное давление, АНГА — аневризма нисходящего грудного отдела аорты, ДАД — диастолическое артериальное давление, ДИ — доверительный интервал, кфСРПВ — каротидно-фemorальная скорость распространения пульсовой волны, ССО — сердечно-сосудистые осложнения, САД — систолическое артериальное давление, ЦАД — центральное артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений, Alx — индекс аугментации, PT1h — давление в точке максимума подъема прямой пульсовой волны центрального артериального давления, (T)EVAR — эндоваскулярная изоляция (грудной) аневризмы аорты стент-графтом ((thoracic) endovascular aneurysm repair), Tr — время возврата отраженной волны.

Рукопись получена 13.10.2023

Рецензия получена 08.11.2023

Принята к публикации 15.11.2023



Для цитирования: Гуревич А. П., Емельянов И. В., Ионов М. В., Ванюркин А. Г., Чернявский М. А., Конради А. О. Динамика сосудистой жесткости и центрального артериального давления после эндоваскулярной изоляции аневризмы аорты у пациентов с артериальной гипертензией. Результаты годичного наблюдения. *Российский кардиологический журнал*. 2023;28(12):5645. doi:10.15829/1560-4071-2023-5645. EDN TQNPFC

Changes of vascular stiffness and central blood pressure after endovascular aneurysm repair in patients with hypertension. Results of one-year follow-up

Gurevich A. P., Emelyanov I. V., Ionov M. V., Vanyurkin A. G., Chernyavsky M. A., Conradi A. O.

Aim. To assess the changes of arterial stiffness, central blood pressure (CBP), and determine the factors potentially influencing them in patients with descending thoracic and abdominal aortic aneurysm, in combination with hypertension, one year after endovascular aneurysm repair ((T)EVAR).

Material and methods. Patients ≥ 18 years of age without clinically significant cardiac arrhythmias were included. Before surgery and a year later, we determined peripheral blood pressure, heart rate (HR), CBP, augmentation index (Alx), pressure at the point of maximum rise of the direct pulse wave (PT1h), time to return of the reflected pressure wave (Tr) and carotid femoral pulse wave velocity (cfPWV).

Results. Fifty patients were included (mean age, 68 ± 9 years; 41 men; 16 with descending thoracic aortic aneurysm, 34 with abdominal aortic aneurysm), 23 patients were reexamined. After (T)EVAR, an increase in cfPWV ($+2,6$ m/s, $p < 0,001$), PT1h ($+5$ mm Hg, $p = 0,026$), peripheral pulse pressure ($+7$ mm Hg, $p = 0,039$), heart rate ($+5$ beats/min, $p = 0,025$). The CBP and Alx values have not changed. The dependence of Tr decrease on the stent-graft length ($\beta = 0,42$) and the decrease in heart rate ($\beta = -0,52$) was found. During the year, 6 cardiovascular events were registered.

Conclusion. Graft implantation is accompanied by an increase in cfPWV, regardless of aneurysm location. An increase in PT1h one year after (T)EVAR may reflect

a decrease in aortic distensibility and worsening damping function. No changes of CBP and Alx is probably explained by reflected wave characteristics after surgery. Predictors of Tr are — increase in heart rate and implantation of longer stent grafts.

Keywords: aortic aneurysm, hypertension, vascular stiffness, pulse wave velocity, central blood pressure, endovascular aortic repair.

Relationships and Activities. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (agreement № 23-25-00272 dated January 12, 2023).

Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg, Russia.

Gurevich A. P.* ORCID: 0000-0002-1489-3618, Emelyanov I. V. ORCID: 0000-0002-3176-0606, Ionov M. V. ORCID: 0000-0002-3664-5383, Vanyurkin A. G.

ORCID: 0000-0002-8209-9993, Chernyavsky M. A. ORCID: 0000-0003-1214-0150, Conradi A. O. ORCID: 0000-0001-8169-7812.

*Corresponding author:
alexandra.gurevich@mail.ru

Received: 13.10.2023 **Revision Received:** 08.11.2023 **Accepted:** 15.11.2023

For citation: Gurevich A. P., Emelyanov I. V., Ionov M. V., Vanyurkin A. G., Chernyavsky M. A., Conradi A. O. Changes of vascular stiffness and central blood pressure after endovascular aneurysm repair in patients with hypertension. Results of one-year follow-up. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(12):5645. doi:10.15829/1560-4071-2023-5645. EDN TQNPFC

Ключевые моменты

- У пациентов с артериальной гипертензией и аневризмой аорты после выполнения эндоваскулярной изоляции аневризмы аорты вне зависимости от ее локализации значительно увеличивается каротидно-фemorальная скорость распространения пульсовой волны.
- После выполнения эндопротезирования аорты изменяется форма центральной пульсовой волны, отражая снижение растяжимости стенки аорты и ухудшение функции демпфирования.
- Имплантация более протяженных стент-графтов, а также более низкая частота сердечных сокращений после операции приводит к увеличению времени возврата отраженной пульсовой волны.

На сегодняшний день из всех инвазивных методов лечения аневризм нисходящего грудного (АНГА) и брюшного отделов аорты (АБА) все чаще отдается предпочтение эндоваскулярной изоляции аневризмы аорты ((thoracic) endovascular aneurysm repair, (T) EVAR), а не открытому типу вмешательства [1]. Это связано с малой травматичностью, низким периоперационным риском на фоне совершенствующихся технологий доставки графтов и их материалов [2, 3]. Среди различных групп пациентов у (T)EVAR наиболее высокий класс доказательств у пожилых, больных с высоким сердечно-сосудистым риском и коморбидностью [4]. Расширяется доказательная база (T)EVAR и для пациентов относительно молодого возраста [5]. На современном этапе развития подобные процедуры выгодно отличаются от открытых за счет высокой краткосрочной результативности [1].

Судя по опубликованным данным, изначальные преимущества (T)EVAR с течением времени частично утрачиваются, высокий риск сердечно-сосудистых осложнений (ССО) сохраняется [4]. Причины снижения отдаленной эффективности (T)EVAR не

Key messages

- In patients with hypertension and aortic aneurysm, after endovascular aneurysm repair, regardless of its location, the carotid-femoral pulse wave velocity significantly increases.
- After aortic repair, the central pulse wave shape changes, reflecting a decrease in aortic distensibility and a deterioration in the damping function.
- Implantation of longer stent grafts, as well as a lower heart rate after surgery, leads to an increase in the time to return of the reflected pressure wave.

вполне ясны. Были предложены различные объяснения: у большинства пациентов с аневризмой аорты (АА) часто выявляются ассоциированные сердечно-сосудистые заболевания, продолжается экспозиция значимых факторов сердечно-сосудистого риска [6]. Одними из ключевых таких факторов у данной когорты пациентов считаются артериальная жесткость и артериальная гипертензия (АГ).

Неинвазивная оценка каротидно-фemorальной скорости распространения пульсовой волны (кфСРПВ), а также систолического центрального артериального давления (ЦАД), центрального пульсового давления, индекса аугментации (Alx) вполне доступна, методики воспроизводимы и широко используются если не в рутинной, то исследовательской работе. Известно, что повышенная артериальная жесткость (оцениваемая по показателю кфСРПВ) является независимым предиктором ССО [7]. Предполагается, что изменения биомеханических свойств аорты и уменьшение ее податливости после (T)EVAR непосредственно влияют на гемодинамику в аорте [8]. Однако доказательная база воздействия (T)EVAR на морфологию центральной пульсовой волны ограничена небольшим количеством исследований с весьма противоречивыми результатами. Неоднозначны и данные об изменениях изначально

повышенных значений кфСРПВ после выполнения (Т)ЕVAR в долгосрочной перспективе [9-14]. Особое внимание исследователей уделяется жесткости стенки аорты и особенностям отраженной волны как модуляторам изменения структуры и функции миокарда левого желудочка у пациентов после (Т)ЕVAR [15].

Таким образом, представляется актуальной динамическая оценка изменений ключевых показателей центральной гемодинамики и их взаимосвязи с параметрами глобальной артериальной жесткости после имплантации эндопротеза.

Цель исследования состояла в оценке динамики показателей артериальной жесткости и ЦАД, и определении потенциально влияющих на нее факторов у пациентов с АНГА/АБА, в сочетании с АГ, через 1 год после эндоваскулярной изоляции аневризмы.

Материал и методы

Исследование было наблюдательным, проспективным в одной группе на базе ФГБУ "НМИЦ им. В.А. Алмазова" Минздрава России. Проводилось в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и положениями Хельсинкской декларации (2013г пересмотра). Протокол исследования, индивидуальная регистрационная карта пациента, информационный листок и форма информированного согласия пациента были одобрены локальным этическим комитетом (протокол № 7/22 от 11.07.2022).

Критерии включения:

- пациенты обоего пола в возрасте от 18 лет и старше;
- установленный диагноз эссенциальной АГ;
- установленный диагноз АА.

Всем пациентам выполнялась мультиспиральная компьютерная ангиография с применением контрастного вещества (йопромид).

Показания для выполнения (Т)ЕVAR соответствовали клиническим рекомендациям профильных сообществ:

- диаметр АНГА от ≥ 55 мм;
- диаметр АБА $\geq 45-50$ мм у женщин и $\geq 50-55$ мм у мужчин, в зависимости от степени риска периоперационных осложнений; прогрессирующий рост бессимптомной АА > 10 мм в год;
- при мешотчатой АА — вне зависимости от ее диаметра [16].

Критерии не включения:

- анамнез значимых сердечно-сосудистых и внесердечных заболеваний в острой и подострой форме (> 6 мес. от возникновения или последнего рецидива/обострения);
- наличие клинически значимых нарушений ритма сердца и проводимости;
- наличие имплантированных внутрисердечных устройств;

- ранее проведенные вмешательства (открытого типа или эндоваскулярные) на любом участке аорты;
- хроническая болезнь почек С4 стадии и выше;
- системные заболевания соединительной ткани.

С пациентами через 12 мес. проводился телефонный или очный контакт. Оценку периферического артериального давления (АД) и ЦАД, артериальной жесткости проводили пациентам перед оперативным лечением, а также при контрольном очном осмотре через 12 мес.

Измерение периферического АД и частоты сердечных сокращений (ЧСС) проводили в положении пациента сидя после пятиминутного отдыха осциллометрическим автоматическим тонометром AND UA-651 BLE (AND, Япония) с плечевой манжетой, соответствующей окружности плеча. Выполняли 3 последовательных измерения на доминантной руке с интервалом в 1-2 мин, рассчитывали средние значения систолического АД (САД), диастолического АД (ДАД) и ЧСС из двух последних измерений.

Для оценки артериальной жесткости и ЦАД использовался метод аппланационной тонометрии (SphygmoCor (AtCor Medical, Австралия)), валидированный для популяции пациентов с АА [17]. Исследование проводилось в положении пациента сидя. Регистрация пульсовой волны на лучевой артерии осуществлялась с помощью высокоточного пьезоэлектрического датчика Миллара (Millar Instruments, США) в течение ~ 10 сек после получения изображения сфигмограммы с постоянной формой. Определялись также: индекс аугментации (AIx, соотношение амплитуд прямой и отраженной пульсовой волн по отношению к пульсовому давлению в аорте, выраженное в %), скорректированный по стандартной ЧСС 75 уд./мин; давление в точке максимума подъема прямой пульсовой волны ЦАД (PT1h); время возврата отраженной волны (Tr); давление аугментации; амплификация САД (модуль разности периферического САД и центрального САД).

Далее определялась кфСРПВ: в положении пациента лежа на спине последовательно регистрировалась пульсовая волна на правой сонной и бедренной артериях. Сфигмограмма была синхронизирована с зубцом R на поверхностной электрокардиограмме, расчет показателя основывался на времени, необходимом для прохождения прямой волны кровотока между точками ее регистрации [7].

Статистический анализ. Количественные переменные представлены в виде среднего и среднеквадратичного отклонения (M (SD)), 95% доверительного интервала (ДИ), или же медианы (Me) и межквартильного размаха (IQR). Проверка согласия распределения количественных показателей с Гауссовым проводилась при помощи критерия Шапиро-Уилка.

В случае соответствия данных нормальному распределению значимость различий между переменными

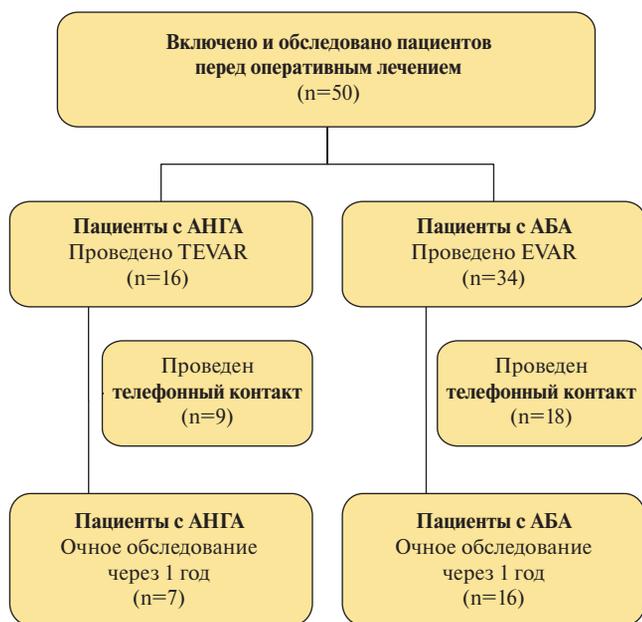


Рис. 1. Ход исследования.

Сокращения: АБА — аневризма брюшной аорты, АНГА — аневризма нисходящей грудной аорты, EVAR — эндоваскулярная изоляция брюшной аорты стент-графтом, TEVAR — эндоваскулярная изоляция грудной аорты стент-графтом.

осуществлялась согласно критерию t-Стьюдента, в противном случае — по критериям U-Манна-Уитни или Уилкоксона. Сравнения категориальных переменных выполнялись с использованием χ^2 -теста и теста Мак-Немара (для связанных выборок). Пропущенные данные исключались попарно.

Для оценки степени и значимости корреляционной связи между количественными переменными вычислялся двусторонний линейный коэффициент корреляции Пирсона или Спирмена (в зависимости от типа распределения данных). Для оценки зависимостей друг от друга некоторых количественных переменных, представляющих практический интерес, проводился линейный регрессионный анализ. С учетом размера выборки в модель включалось не более трех независимых переменных при учете отсутствия коллинеарности между ними. Переменные включались на основании анализа литературных источников, априорных логических предположений, патофизиологии изучаемых процессов, пошаговым способом с расчетом наилучшего значения R^2 модели.

Различия показателей считались статистически значимыми при значениях $p < 0,05$. Все этапы статистической обработки данных были проведены с использованием программного пакета SPSS Statistics ver. 23.0 (IBM Corp., США).

Результаты

Общий дизайн исследования представлен на рисунке 1. Изначально было включено 50 пациентов

(средний возраст 68 ± 9 лет, 41 мужчина) с длительным анамнезом АГ (медиана 10 (IQR (6; 15) лет)) и ранее диагностированной АА, госпитализированных для плановой (Т)EVAR в клинику ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова" Минздрава России в период 2017-2021гг. Исходная клинико-демографическая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

По результатам измерения АД на плечевой артерии врачом, контроль АГ (АД < 140 и < 90 мм рт.ст.) при включении был достигнут у 23 пациентов, — изолированная систолическая АГ была выявлена у 12 пациентов, изолированное повышение ДАД — у одного больного, и стабильно систоло-диастолическая АГ — у 14 пациентов.

Всем пациентам выполнено (Т)EVAR стандартным пункционным доступом к общим бедренным артериям. Непосредственным техническим успехом считалось оптимальное позиционирование модулей графта и полная изоляция АА, оцениваемое при

Таблица 1

Клинико-демографическая характеристика включенных пациентов (n=50)

Показатели, n (%); M \pm SD; Me (Q 25%; 75%)	Значения
Возраст, годы	68 \pm 9
Пол: мужчины, n (%)	41 (82)
Индекс массы тела, кг/м ²	28,4 (25,4; 31,3)
Курение, n (%)	26 (52)
Длительность анамнеза АГ, годы	10 (6; 15)
ИБС, n (%)	36 (72)
ИМ, n (%)	10 (20)
ОНМК, n (%)	5 (10)
Сахарный диабет тип 2, n (%)	9 (18)
ХБП, n (%)	2 (4)
Медикаментозная терапия	
Бета-адреноблокаторы, n (%)	38 (76)
иАПФ или БРАII, n (%)	44 (88)
Блокаторы кальциевых каналов, n (%)	14 (28)
Диуретики, n (%)	5 (10)
Моно-/комбинированная антигипертензивная терапия, n (%)	12 (24)/38 (76)
Ингибиторы ГМГ-КоА-редуктазы (статины), n (%)	47 (94)
АСК, n (%)	49 (98)
Характеристика и количество выполненных операций в зависимости от локализации аневризмы	
Эндопротезирование нисходящей грудной аорты	16 (32)
Эндопротезирование брюшной аорты	34 (68)
Длина стент-графта, мм	148 \pm 49

Сокращения: АГ — артериальная гипертензия, АСК — препараты ацетилсалициловой кислоты в кишечнорастворимой оболочке, БРАII — блокаторы рецепторов ангиотензина II, иАПФ — ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, ТИА — транзиторная ишемическая атака, ХБП — хроническая болезнь почек.

Таблица 2

Динамика показателей периферического и ЦАД, артериальной жесткости после эндоваскулярной изоляции АА (n=23)

Показатели, M±SD; Me (Q 25%; 75%)	Исходно	1 год после (Т) EVAR	Значение p
Периферическое САД, мм рт.ст.	140±16	147±17	0,191
Периферическое ДАД, мм рт.ст.	81±10	80±12	0,721
Периферическое пульсовое давление, мм рт.ст.	60±11	67±13	0,039
Центральное САД, мм рт.ст.	130±16	135±16	0,299
Центральное ДАД, мм рт.ст.	81±11	81±12	0,937
Центральное пульсовое давление, мм рт.ст.	49±12	54±14	0,084
PT1h, мм рт.ст.	34±7	39±8	0,026
Амплификация САД, мм рт.ст.	8 (6; 13)	11 (8; 15)	0,026
Давление аугментации, мм рт.ст.	15±9	16±9	0,484
Индекс аугментации, стандартизированный по ЧСС в 75 уд./мин, %	27 (16; 35)	25 (18; 31)	0,922
Время возврата отраженной волны, мсек	140 (131; 145)	138 (133; 149)	0,588
кфСРПВ, м/с	11,1±2,1	13,4±2,5	<0,001
ЧСС, уд./мин	64±9	68±11	0,025

Сокращения: ДАД — диастолическое артериальное давление, САД — систолическое артериальное давление, кфСРПВ — каротидно-феморальная скорость распространения пульсовой волны, ЧСС — частота сердечных сокращений, PT1h — величина давления в точке максимального подъема центральной пульсовой волны, (Т)EVAR — эндоваскулярная изоляция аорты стент-графтом, Tr — время возврата отраженной волны.

контрольной ангиографии. Среднее время наблюдения пациентов после выписки из стационара составило 12±1 мес. Из 50 включенных спустя 1 год после (Т)EVAR у 23 больных был проведен очный визит. Пациенты группы очного наблюдения не отличались от общей группы по клинико-демографическим характеристикам.

Показатели гемодинамики и сосудистой жесткости исходно и через год после (Т)EVAR представлены в таблице 2. Было выявлено увеличение кфСРПВ через 1 год после выполнения (Т)EVAR по сравнению с исходными показателями. Разность средних составила 2,6 м/с (95% ДИ: 1,3-3,3, p<0,001) независимо от локализации эндопротеза: 2,9 м/с (95% ДИ: -0,1-5,8, p<0,05) в подгруппе TEVAR и 2,0 м/с (95% ДИ: 0,8-3,2, p=0,002) в подгруппе EVAR (p_{межгрупповая}=0,504). После операции повышение кфСРПВ, по сравнению с возрастными референсными значениями [7], зафиксировано у 20 больных. Выявлено повышение давления в PT1h через 1 год после операции (+5 мм + рт.ст. (95% ДИ: 1-10, p=0,026). Через год после вмешательства наблюдалось небольшое, но значимое повышение ЧСС по сравнению с исходной: разность средних составила 5 уд./мин (95% ДИ: 1-9, p=0,025).

Наблюдалось значимое повышение периферического пульсового давления (Δ +7 мм рт.ст., p=0,039), но не центрального пульсового давления (p=0,08). Ни периферическое САД, ни центральное САД после операции, проанализированные по отдельности, значимо не изменились. Но к концу наблюдения различия между периферическим и центральным САД были значимо выше по сравнению с исходными показателями (Δ +3 мм рт.ст., p=0,026). Ни периферическое ДАД, ни центральное ДАД не изменились после имплантации стент-графта. Статистически значимых различий давления аугментации по сравнению с исходным выявлено не было (p=0,484).

Учитывая отсутствие значимых изменений AIx, по сравнению с исходными значениями, но широкую его вариабельность (исходно медиана AIx 27% (IQR (16%; 35%)), через 12 мес. медиана 25% (IQR (18%; 31%)) в общей группе, были проанализированы особенности отраженной волны, в зависимости от локализации АА. Изначально медианы AIx у пациентов с АНГА и с АБА существенно различались (8% (IQR (4; 14)) у пациентов с АНГА vs 32% (IQR (26; 36)) у пациентов с АБА; p<0,001). Однако не было выявлено значимой динамики показателя AIx (p=0,9) через год, и повторно определенные значения также не различались в подгруппах пациентов АНГА и АБА (p=0,1 и p=0,3, соответственно). Тем не менее разность финальных и исходных показателей AIx между группами TEVAR и EVAR достигла статистической значимости (p=0,043), оказалась положительной и более выраженной в группе пациентов с АНГА (+4% vs -2% — при АБА).

Средняя длина стент-графта при АНГА значительно превышала таковую у больных с АБА (201±38 мм vs 124±33 мм; p=0,001). С учетом ранее описанного эффекта по изменению формы пульсовой волны и времени возникновения отдельных ее составляющих после хирургического лечения АА [18], зависимой переменной в регрессионном анализе стала разность времени возврата пульсовой волны (ΔTr), определенного исходно и через год после вмешательства. Регрессионный анализ выявил, что кроме разности ЧСС между финальным и исходным обследованиями (β=-0,52), длина имплантированного графта (β=0,42) в значительной степени определяет изменение переменной ΔTr (R²=0,53, p=0,004).

Была выявлена средней силы положительная взаимосвязь между амплитудой изменений периферического САД, систолического ЦАД и кфСРПВ (r=0,658; p=0,002 и r=0,634; p=0,004, соответственно). Взаимосвязи между изменениями ЧСС и динамикой кфСРПВ не выявлено (p=0,488).

Через 12 мес. ото всех пациентов (n=50) получена информация относительно случившихся ССО. В течение 1 года после (Т)EVAR у 6 участников исследования наступили осложнения. Один пациент

скончался (сердечная смерть), у 5 случились нефатальные ССО: инфаркт миокарда у одного пациента, нестабильная стенокардия — у одного, острое нарушение мозгового кровообращения — у одного, острая декомпенсированная сердечная недостаточность — у одного, и фибрилляция предсердий *de novo* также у одного включенного больного.

Обсуждение

Было показано, что в отдаленном послеоперационном периоде повышаются периферическое пульсовое давление, ЧСС и кфСРПВ по сравнению с исходными значениями. Однако ЦАД и АІх значимо не изменились. Найдена зависимость разности финальных и исходных показателей Тг от длины имплантированного стент-графта, а также более длительный возврат пульсовой волны определялся у пациентов с более низкой конечной, нежели предоперационной, ЧСС.

До операции у 21 пациента кфСРПВ уже была выше референсных значений [7], практически у половины пациентов отсутствовал контроль АГ. При обследовании через 1 год после (Т)ЕVAR кфСРПВ сохранялась повышенной по сравнению с исходными значениями, что соответствует результатам других исследований [9–14]. Ранее было показано увеличение кфСРПВ через 6 мес. после ТЕVAR на небольшой выборке пациентов с АНГА [9]. Что касается АБА, то по данным Lantelme P, et al. (2009) [10] и Lee CW, et al. (2013) [11] было выявлено повышение кфСРПВ через 1 мес. после EVAR. Исследовательская группа Kadoglou NPE выявила долгосрочное повышение данного показателя через 6–12 мес. после операции [12, 13].

До настоящего времени окончательно невыясненным остается вопрос о том, что влияет на повышение кфСРПВ: установка более жестких эндоваскулярных конструкций, заметное уменьшение объема расширенного участка аорты после его изоляции из кровотока, или их сочетание. Повышение жесткости аорты и нарушение растяжимости ее стенки после эндопротезирования может способствовать снижению демпфирующей функции, поскольку ни один из используемых в настоящее время стент-графтов не обладает способностью к продольному расширению. Это может вызывать дисбаланс в растяжимости стентированного и интактного отделов аорты по данным экспериментальных исследований [19], что приводит к усилению продольной деформации, увеличению напряжения в стенке аорты и повышению АД проксимальнее изолированной зоны.

В настоящей работе также установили нарушение демпфирования пульсовой волны у пациентов после (Т)ЕVAR, что подтверждается повышением уровня РТ1h спустя 12 мес. после операции. Мы предполагаем, что выявленное изменение формы центральной пульсовой волны может способствовать дальнейшему ремоделированию аорты, объяснять выявленное

в клинических исследованиях возрастание постнагрузки на миокард левого желудочка при искусственном снижении эластичности аорты [5, 15].

В некоторых исследованиях высказывалось предположение, что (Т)ЕVAR приведет к тому, что отраженная пульсовая волна будет возвращаться к сердцу раньше и с увеличенной амплитудой из-за возникновения дополнительной точки ее отражения в непосредственной близости от сердца, повышая и ЦАД, и АІх. Хотя эта гипотеза и подтвердилась на компьютерных моделях, при переходе от экспериментов к клиническим исследованиям значимых изменений АІх после операции не обнаружилось [14]. Мы также исследовали динамику АІх у пациентов в отдаленном периоде после (Т)ЕVAR и показали отсутствие изменений показателя в общей группе пациентов. Однако наблюдались статистически значимые различия ΔАІх между подгруппами ТЕVAR и EVAR: у пациентов с АНГА показатель АІх возрос, а у пациентов с АБА оказался чуть ниже исходных значений. Наши результаты не позволяют полностью исключить вышеуказанную гипотезу из научной повестки, однако необходимы дальнейшие исследования с более крупными выборками больных.

В настоящей работе установлено, что имплантация более длинного стент-графта сопровождается увеличением времени возврата отраженной волны. Вероятнее всего это происходит в результате уменьшения скорости и амплитуды отраженной волны, и, следовательно, снижения их влияния на суммирующую пульсовую волну, что было ранее продемонстрировано в экспериментальных и клинических исследованиях [18, 20]. Повышение скорости потока крови в аорте при изоляции аневризмы более длинным стент-графтом, возможно, приводит к компенсаторной вазодилатации периферических артерий, вызывающей снижение амплитуды и/или скорости отраженной волны. Изменения Тг следует рассматривать в тесной связи с другими параметрами гемодинамики, прежде всего, АД и ЧСС. Включив все 3 показателя в регрессионную модель, лишь более низкие показатели ЧСС к году послеоперационного наблюдения и протяженность стент-графта оказывали наибольший эффект на увеличение времени возврата отраженной пульсовой волны. Факт сильной зависимости Тг от снижения ЧСС может иметь важное значение для оценки эффективности медикаментозного лечения после (Т)ЕVAR в отношении артериальной жесткости, однако в данной работе мы не проводили подробного анализа влияния медикаментозной терапии (в частности, приема бета-адреноблокаторов и их дозировок) на Тг.

При исследовании динамики АД после (Т)ЕVAR мы показали, что рост периферического пульсового давления через 1 год после операции реализовывался преимущественно за счет более отчетливого по-

вышения периферического САД в динамике. Однако динамики абсолютных значений периферического САД до операции и спустя 1 год не наблюдалось, т.е. можно говорить лишь о тенденции. Существенного увеличения систолического и пульсового ЦАД в отдаленном послеоперационном периоде не произошло, что также соответствует данным литературы [14]. Известно, что пульсовая волна, распространяясь дистальнее аорты по магистральным артериям, амплифицируется. Поэтому не вызывает удивления наблюдаемое нами более выраженное повышение периферического нежели центрального пульсового давления после операции.

Нами также была показана положительная корреляция между магнитудой изменений кФСРПВ, периферического и центрального САД в отдаленном периоде после операции в общей группе пациентов, что говорит о тесной взаимосвязи увеличения глобальной артериальной жесткости и повышения САД при АГ.

Частота развития ССО у больных через год после (Т)ЕVAR была невысокой — 6 из 50 (12%), из них 1 (2%) — фатальное. Sharples L, et al. в 2022г опубликовали результаты 12-мес. наблюдения 150 пациентов после TEVAR, летальность составила 17,5% [21]. Оценить связи ССО с показателями центральной гемодинамики, сосудистой жесткости в нашем исследовании затруднительно в связи с его ограничениями.

Литература/References

- Shlomin VV, Bondarenko PB, Gusinsky AV, et al. Twenty-year experience in off-pump surgery for thoracic and thoracoabdominal aorta aneurysms and dissections. *Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya*. 2021;14(4):266-75. (In Russ.) Шломин В.В., Бондаренко П.Б., Гусинский А.В. и др. Двадцатилетний опыт лечения аневризм и расслоений грудной и торакоабдоминальной аорты без использования искусственного кровообращения. *Кардиология И Сердечно-Сосудистая Хирургия*. 2021;14(4):266-75. doi:10.17116/kardio202114041266.
- Chernyavsky MA, Zherdev NN, Chernova DV, et al. A clinical case of hybrid surgical treatment of aortic arch saccular aneurysm in a patient with newly diagnosed aortic coarctation. *Russian Journal of Cardiology*. 2018;(11):130-2. (In Russ.) Чернявский М.А., Жердев Н.Н., Чернова Д.В. и др. Случай гибридного хирургического лечения мешотчатой аневризмы дуги аорты у пациента с впервые выявленной коарктацией аорты. *Российский кардиологический журнал*. 2018;(11):130-2. doi:10.15829/1560-4071-2018-11-130-132.
- Sveinsson M, Sonesson B, Kristmundsson T, et al. Long-term outcomes after fenestrated endovascular aortic repair for juxtarenal aortic aneurysms. *J Vasc Surg*. 2022;75:1164-70. doi:10.1016/j.jvs.2021.11.050.
- Patel R, Powell JT, Sweeting MJ, et al. The UK EndoVascular Aneurysm Repair (EVAR) randomised controlled trials: long-term follow-up and cost-effectiveness analysis. *Health Technol Assess Winch Engl*. 2018;22:1-132. doi:10.3310/hta22050.
- Kamenskiy A, Aylward P, Desyatova A, et al. Endovascular Repair of Blunt Thoracic Aortic Trauma is Associated With Increased Left Ventricular Mass, Hypertension, and Off-target Aortic Remodeling. *Ann Surg*. 2021;274:1089-98. doi:10.1097/SLA.0000000000003768.
- Kessler V, Klopff J, Eilenberg W, et al. AAA Revisited: A Comprehensive Review of Risk Factors, Management, and Hallmarks of Pathogenesis. *Biomedicines*. 2022;10:94. doi:10.3390/biomedicines10010094.
- Reference Values for Arterial Stiffness' Collaboration. Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: "establishing normal and reference values". *Eur Heart J*. 2010;31:2338-50. doi:10.1093/eurheartj/ehq165.
- Rovas G, Bikia V, Stergiopoulos N. Design and computational optimization of compliance-matching aortic grafts. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;11:1179174. doi:10.3389/fbioe.2023.1179174.
- Moulakakis KG, Kadoglou NPE, Antonopoulos CN, et al. Changes in Arterial Stiffness and N-terminal pro-brain natriuretic peptide Levels after Endovascular Repair of Descending Thoracic Aorta. *Ann Vasc Surg*. 2017;38:220-6. doi:10.1016/j.avsg.2016.04.025.
- Lantelme P, Dzudie A, Milon H, et al. Effect of abdominal aortic grafts on aortic stiffness and central hemodynamics. *J Hypertens*. 2009;27:1268-76. doi:10.1097/HJH.0b013e3283299b22.
- Lee CW, Sung SH, Chen CK, et al. Measures of carotid-femoral pulse wave velocity and augmentation index are not reliable in patients with abdominal aortic aneurysm. *J Hypertens*. 2013;31:1853-60. doi:10.1097/HJH.0b013e328362360a.
- Kadoglou NPE, Moulakakis KG, Papadakis I, et al. Changes in Aortic Pulse Wave Velocity of Patients Undergoing Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysms. *J Endovasc Ther*. 2012;19:661-6. doi:10.1583/JEVT-12-3916MR.1.
- Kadoglou NPE, Moulakakis KG, Papadakis I, et al. Differential effects of stent-graft fabrics on arterial stiffness in patients undergoing endovascular aneurysm repair. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec*. 2014;21:850-8. doi:10.1583/14-4772MR.1.
- Holewijn S, Vermeulen JJM, van Helvert M, et al. Changes in Noninvasive Arterial Stiffness and Central Blood Pressure After Endovascular Abdominal Aneurysm Repair. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec*. 2021;28:434-41. doi:10.1177/15266028211007460.
- van Bakel TMJ, Arthurs CJ, Nauta FJH, et al. Cardiac remodeling following thoracic endovascular aortic repair for descending aortic aneurysms. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2019;55:1061-70. doi:10.1093/ejcts/ezy399.
- Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J, et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of aortic disease: A report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2023;S0022-5223(23)00347-1. doi:10.1016/j.jtcvs.2023.04.023.
- Holewijn S, Vermeulen JJM, van Helvert M, et al. Validation of Central Pressure Estimation in Patients with an Aortic Aneurysm Before and After Endovascular Repair. *Cardiovasc Eng Technol* 2022;13:265-78. doi:10.1007/s13239-021-00574-3.
- Takano T, Iwai-Takano M, Tsuboko Y, et al. Reflected wave intensity increases based on aortic diameter after endovascular aortic therapy in a goat model. *Sci Rep*. 2021;11:3830. doi:10.1038/s41598-020-80920-y.
- Bianchi D, Conti M, Bissacco D, et al. Impact of thoracic endovascular aortic repair on aortic biomechanics: Integration of in silico and ex vivo analysis using porcine model. *Int J Numer Method Biomed Eng*. 2023;39(4):e3594. doi:10.1002/cnm.3594.
- Salvi L, Alfonsi J, Grillo A, et al. Postoperative and mid-term hemodynamic changes after replacement of the ascending aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2022;163:1283-92. doi:10.1016/j.jtcvs.2020.05.031.
- Sharples L, Sastry P, Freeman C, et al. Endovascular stent grafting and open surgical replacement for chronic thoracic aortic aneurysms: a systematic review and prospective cohort study. *Health Technol Assess Winch Engl*. 2022;26:1-166. doi:10.3310/ABUT7744.

Ограничения исследования. Исследование носит наблюдательный характер, нет группы сравнения, а выборка пациентов — небольшая. Объективный осмотр удалось провести менее чем у половины включенных пациентов. Длительность наблюдения ограничена 12 мес., поэтому долгосрочную прогностическую значимость динамики кФСРПВ и АД оценить невозможно.

Заключение

Имплантация эндопротеза в аорту сопровождается повышением кФСРПВ вне зависимости от локализации аневризмы в течение 1 года. Морфологические изменения центральной волны давления после изоляции АА, обусловленные повышением РТ1h, потенциально могут отражать снижение растяжимости аорты и ухудшение ее демпфирующей функции. Отсутствие значимой динамики ЦАД и А1х, вероятно, объясняется особенностями отраженной волны. Предиктором увеличения времени возврата отраженной волны после (Т)ЕVAR является урежение ЧСС и имплантация более протяженных стент-графтов.

Отношения и деятельность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (соглашение № 23-25-00272 от 12.01.2023).