

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-112-121>
УДК 616.132-089.844-77

Русский конduit II: обоснование использования нового протеза корня аорты и доклад о первой операции

Р.Н. Комаров¹, А.В. Царегородцев², М.И. Ткачев¹

¹ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) (Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России), Клиника сердечно-сосудистой хирургии, 119991, Российская Федерация, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

² Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Министерства здравоохранения Российской Федерации (РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России), 117997, Российская Федерация, Москва, ул. Островитянова, 1г

Аннотация

Введение. Операции на корне аорты продолжают совершенствоваться. Для замены корня аорты используются как линейные клапансодержащие кондуиты, так и анатомичные (так называемые Вальсальва – графты). При этом нет четкого мнения, насколько важно использовать именно анатомичные клапансодержащие кондуиты. Ответ на этот вопрос возможно получить при сравнении трансклапанной гемодинамики линейного кондуита с трансклапанной гемодинамикой нативного корня аорты. Исследования в этой области помогут найти характеристики, которыми должен обладать новый клапансодержащий конduit для обеспечения оптимальной гемодинамики.

Цель. Продемонстрировать способ протезирования структур корня аорты с имитацией его естественной геометрии, сделать доклад о преимуществах подобного вмешательства с позиции трансклапанной гемодинамики.

Материал и методы. Выполнено экспериментальное исследование по изучению трансклапанной гемодинамики в протезе «Русский конduit I» линейного дизайна с вшитыми в него аутоперикардальными створками. Результаты сравнивались с эталонной гемодинамикой в нативном корне аорты с вшитыми в него створками той же формы, как и в изучаемом кондуите. По результатам исследования оказалось, что естественная геометрия корня аорты значимо влияет на трансклапанную гемодинамику, что выражается в меньших трансклапанных градиентах, меньших потерях энергии на открытии и закрытии створок, большей площадью открытия.

Результаты. Экспериментальные данные мы экстраполировали на клинические результаты аналогичных операций в сопоставимых группах. Изучали результаты операции с использованием протеза «Русский конduit». Операцией с сохранением корня аорты выступила симметричная неокуспидизация. По результатам исследования было продемонстрировано, что сохранение нативного корня аорты дает лучшую трансклапанную гемодинамику, что значимо влияет на обратное ремоделирование левого желудочка в среднеотдаленном периоде.

С учетом этого сделан вывод о необходимости сохранять геометрию корня аорты при вмешательствах по его протезированию клапансодержащим кондуитом.

В данной работе также представлен клинический случай использования нового протеза корня аорты «Русский конduit II». Он использован для реконструкции корня аорты с восстановлением запирающей функции нативного аортального клапана. Приведено описание методики операции, непосредственные результаты, подробно описаны возможности подобного оперативного вмешательства.

Заключение. Есть основания полагать, что применение разработанного протеза при операциях на корне аорты может давать гемодинамический результат, сопоставимый с нативным клапаном, при этом сама операция имеет потенциал к высокой воспроизводимости и стандартизации хирургической техники, что расширит ее применение.

| | |
|----------------------------|--|
| Ключевые слова: | реконструкция корня аорты; протез корня аорты; трансклапанная гемодинамика. |
| Конфликт интересов: | авторы декларируют отсутствие конфликта интересов. |
| Финансирование: | исследование выполнено без задействования грантов и финансовой поддержки от общественных, некоммерческих и коммерческих организаций. |
| Для цитирования: | Комаров Р.Н., Царегородцев А.В., Ткачев М.И. Русский конduit II: обоснование использования нового протеза корня аорты и доклад о первой операции. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2024;39(2):112–121. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-112-121 . |

✉ Царегородцев Антон Владимирович, e-mail: 89229938920@yandex.ru.

Russian Conduit II: rationale for the use of a new aortic root prosthesis and first case-report

Roman N. Komarov¹, Anton V. Tsaregorodtsev², Maksim I. Tkachev¹

¹ Institute of Professional Education of the Sechenov University, Moscow, Russia, build. 2, 8, Trubetskaya st., Moscow, 119991, Russian Federation

² Federal State Educational Institution of Higher Education named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia, 1g, Ostrovityanova str., Moscow, 117997, Russian Federation

Abstract

Introduction. Aortic root surgery continues to improve. Both linear valve-containing and anatomic (so-called Valsalva grafts) conduits are used for aortic root replacement. However, there is no clear opinion about the importance of using anatomical valve-containing conduits. The answer to this question can be obtained by comparing the transvalvular hemodynamics of a linear conduit with the transvalvular hemodynamics of the native aortic root. Research in this area will help to find the characteristics that a new valve-containing conduit should possess to provide optimal hemodynamics.

Objective. To demonstrate the method of aortic root structures prosthetics with imitation of its natural geometry, to report on the advantages of such intervention from the position of transvalvular hemodynamics.

Material and Methods. An experimental study of transvalvular hemodynamics in the prosthesis "Russian Conduit I" of linear design with autopericardial flaps sewn into it was performed. The results were compared with the reference hemodynamics in the native aortic root with sewn-in flaps of the same shape as in the studied conduit. The results of the study showed that the natural geometry of the aortic root significantly affects transvalvular hemodynamics, which is expressed in smaller transvalvular gradients, lower energy losses at the opening and closing of the flaps, and larger opening area.

Results. We extrapolated the experimental data to the clinical results of similar operations in comparable groups. We studied the results of the operation with the use of the Russian Conduit prosthesis. The operation with the aortic root preservation was symmetrical neocuspidization. According to the results of the study it was demonstrated that preservation of native aortic root gives better transvalvular hemodynamics, which significantly affects the reverse remodeling of the left ventricle in the mid-term period. With this in mind, it is concluded that it is necessary to preserve the geometry of the aortic root during interventions for its prosthesis with a valve-containing conduit.

This paper presents a clinical case of a new aortic root prosthesis "Russian Conduit II". It was used for aortic root reconstruction with restoration of the locking function of the native aortic valve. The description of the surgical technique, immediate results, and the possibilities of similar surgical intervention are described in detail.

Conclusion. There are reasons to believe that the use of the developed prosthesis in aortic root surgeries can give hemodynamic results comparable with native valve, and the operation itself has a potential for high reproducibility and standardization of surgical technique, which will expand its application.

Keywords: aortic root reconstruction; aortic root conduit; transaortic hemodynamic.

Conflict of interest: the authors do not declare a conflict of interest.

Funding: the work was carried out without the use of grants or financial support from public, non-profit and commercial organizations.

For citation: Komarov R.N., Tsaregorodtsev A.V., Tkachev M.I. Russian Conduit II: rationale for the use of a new aortic root prosthesis and first case-report. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 024;39(2):112–121. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-112-121>.

Введение

Операции по замене экстракардиальной части корня аорты (всех структур корня аорты, кроме выносящего тракта левого желудочка) с 60-х гг. XX в. по наши дни продолжают модифицироваться. Классическим вмешательством является процедура по типу Bentall, которая заключается в имплантации клапаносодержащего кондуита [1]. При данном вмешательстве заменяются все структуры выхода из левого желудочка: комиссуры аортального клапана (АК), синусы Вальсальвы, синоатриальное кольцо – линейным синтетическим протезом; АК – каркасным протезом АК, внедренным в сосудистый протез [2].

Данное классическое вмешательство является воспроизводимым и наиболее простым вмешательством на корне аорты, поэтому применяется рутинно как в экстренной, так и плановой кардиохирургии [3].

Однако такая операция обладает рядом недостатков: (1) происходит удаление нативного АК, который в некоторых случаях можно реконструировать; (2) при замене клапана каркасным протезом происходит ограничение естественной деформации корня аорты, которая играет определенную роль в перфузии коронарных артерий и в целом является природным механизмом оптимизации насосной работы сердца; (3) после операции Bentall возможно только открытое повторное вмешательство, а в случае операции Bio-Bentall оно неизбежно понадобится [4].

В связи с этим не заканчиваются попытки проведения более анатомичных вмешательств. Среди них можно выделить две группы вмешательств:

1) вмешательство по замене всех экстракардиальных структур корня аорты с заменой АК (Ozaki-procedure [5], Komarov-procedure [6], Ross-procedure [7], Valsalva –

Bentall, «Русский кондуит I» [8], аортальный гомографт [9]);

2) вмешательства по замене всех экстракардиальных структур корня аорты, но с сохранением нативного клапана: неокуспидизация АК (Lansac-procedure [10], David-procedure [11], Yacoub-procedure [12]).

Актуальность работы продиктована стремлением к разработке и внедрению стандартизированного и воспроизводимого метода восстановления всех структур корня аорты. Данная разработка по своей сути близка к операциям по типу Yacoub и David Procedure II и имеет такой же потенциал к восстановлению нативной гемодинамики с сохранением циклического динамизма корня аорты (термин «aortic root dynamism» предложен М. Yacoub в 1990 г. [13]), однако экономит время на моделировании протеза, а также исключает неточности в выкраивании языкообразных вырезов «на глаз», таким образом, увеличивает доступность и воспроизводимость вышеупомянутых авторских техник.

Цель данной работы – представить первый опыт использования нового анатомического протеза корня аорты «Русский кондуит II» и обосновать его применение в клинике.

Материал и методы

Терминология. В данной работе будет использоваться терминология, отражающая результат операции на корне аорты, а именно, сохранение / имитация геометрии корня аорты (корень-сохраняющая операция) и несохранение / имитация геометрии корня аорты (корень-выносящая операция).

Корень-сохраняющая операция заключается в неокуспидизации корня аорты створками из аутоперикарда. Корень-выносящая операция – это вшивание створок той же формы и размеров в цилиндрический протез («Русский кондуит I»).

Экспериментальное исследование

Нами было проведено исследование по оценке влияния естественной геометрии корня аорты при операциях по типу Bentall на гемодинамику и послеоперационные результаты.

Была проведена оценка гидродинамических показателей неокуспидизации с сохранением корня аорты и без сохранения в исследовании на пульс-дупликаторе и реальной клинической практике нашей клиники.

Мы воссоздали в условиях WETLAB и сравнили в пульс-дупликаторе (Vivitro Labs, Канада) показатели трансклапанной гемодинамики при двух операциях: с сохранением корня аорты – операция «Комаров» и без – операция «Русский кондуит I». Всего было изготовлено по 10 кондуитов, имитирующих каждую операцию. Испытания в Пульс-дупликаторе проводили с циркуляцией глицерина, который по физическим свойствам напоминал кровь.

Клинические наблюдения за результатами корень-сохраняющей и корень-выносящей операции

Было проведено ретроспективное сравнительное исследование 16 пациентов в возрасте 75 ± 10 лет в дооперационном и в раннем послеоперационном периоде с 2017 по 2023 гг.

Сравнивались результаты операций в группах, сопоставимых по возрасту, индексу массы тела (ИМТ), размеру фиброзного кольца АК, степени аортальной недостаточности, толщине стенок и массе миокарда левого

желудочка (ЛЖ), конечно-диастолический объем (КДО) и фракции выброса ЛЖ.

Сравниваемые группы: операция с сохранением корня аорты – процедура симметричной неокуспидизации (по методике профессора Р.Н. Комарова) – 8 пациентов с изолированной недостаточностью АК и фиброзным кольцом 24–25 мм.

Корень-выносящая операция с заменой корня аорты линейным протезом (операция «Русский кондуит») – 8 пациентов с недостаточностью, вызванной аневризмой синусов Вальсальвы и фиброзным кольцом 24–26 мм.

Операция с использованием нового протеза «Русский кондуит II»

Мы представляем клинический случай, в котором был использован новый анатомичный протез для замены структур корня аорты. Данный протез имеет следующее устройство. В его основе лежит линейный гофрированный протез из политетрафторэтилена. Проксимальный конец протеза модифицирован, а именно имеет 3 симметричных языкообразных выреза, выкраенных не «на глаз» во время операции, а по рассчитанной формуле, привязанной к диаметру протеза в цилиндрической части. Край проксимального конца повторяет естественную короновидную структуру фиброзного кольца корня аорты, таким образом, при имплантации не деформирует основания синусов и не опускает комиссуры АК к надирам.

По краю протеза пришит «бортик», который выстоит наружу. Смысл данного бортика заключается в том, что за него гораздо проще выполнять шов к основанию синуса Вальсальвы, при этом шов оказывается снаружи, лигатура не контактирует с системным кровотоком, что уменьшает тромбогенность, к тому же шов не стенозирует фиброзного кольца (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид протеза «Русский кондуит II»
Fig. 1. External view of the prosthesis «Russian Conduit II»

Результаты

Экспериментальное исследование

После имплантации створок в нативный корень аорты свиньи мы анастомозировали концы корня аорты с протезом 23 мм для фиксации в пульс-дупликаторе и провели гидропробу. Убедившись, что мы добились отличной запирающей функции, поместили конструкцию в пульс-дупликатор.

Аналогичные действия проводили для имитации корень-выносящей операции «Русский кондуит I».

Измерения показателей и расчеты дополнительных параметров проводились в программном обеспечении Vi viTest v 3.5.02 Vivitro Systems (Vivitro Labs Inc., Канада) в запрограммированном режиме, имитирующем физиологические параметры (рис. 2).

Средний и пиковый трансортальный градиенты для операции «Komarov» в эксперименте были ниже и составили $2,53 \pm 0,59$ и $10,65 \pm 1,61$, а для операции «Русский конduit» – $7,61 \pm 0,89$ и $13,77 \pm 1,33$ мм рт. ст. соответственно (табл. 1)

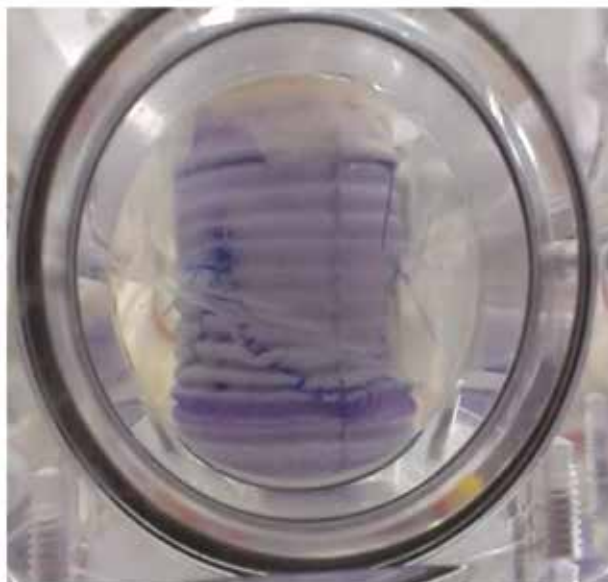
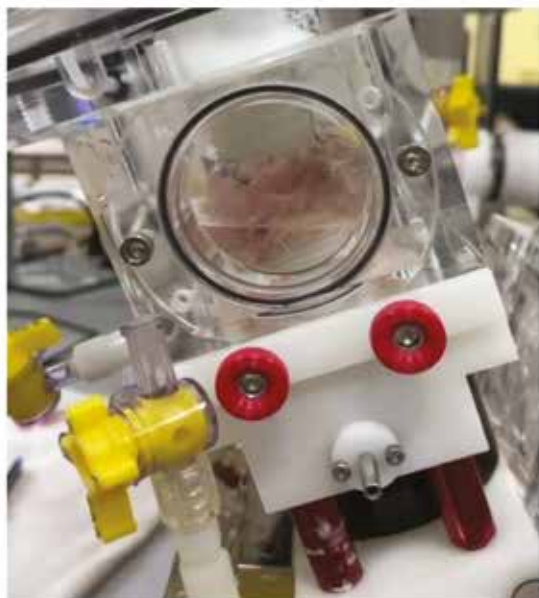




Рис. 2. Воссоздана корень-сохраняющая операция (неокуспидизация в нативный корень) (а) и корень-выносящая операция (неокуспидизация в линейный протез) (б)
Fig. 2. Reconstructed root-preserving surgery (neocuspidization into native root) (a) and Root-supporting surgery (neocuspidization into linear prosthesis) (b)

Таблица 1. Результаты эксперимента в пульс-дупликаторе

Table 1. Experimental results in the pulse duplicator

| Параметры | Корень-сохраняющая операция (неокуспидизация в нативный корень) | Корень-выносящая операция (неокуспидизация в линейный протез) | <i>p-value</i> |
|---|---|---|----------------|
| Выполнение операции в эксперименте |  |  | – |
| Средний трансортальный градиент, мм рт. ст., $M \pm SD$ | $2,534 \pm 0,597$ | $7,612 \pm 0,894$ | 0,0000018 |
| Объем регургитации жидкости в момент закрытия створок, мл, $M \pm SD$ | $-6,823 \pm 0,514$ | $-10,939 \pm 0,177$ | 0,0000015 |
| Фракция регургитации, %, $M \pm SD$ | $17,183 \pm 1,542$ | $16,674 \pm 0,181$ | 0,05 |
| Эффективная площадь отверстия (EOA), см ² , $M \pm SD$ | $2,719 \pm 0,280$ | $2,212 \pm 0,145$ | 0,000214 |
| Энергия потерь на закрытии, %, $M \pm SD$ | $6,85195 \pm 0,396981$ | $8,725122 \pm 0,170501$ | 0,0002515 |
| Энергия потерь на утечке (f3–f4)*, mJ, $M \pm SD$ | $51,55 \pm 6,062418$ | $24,69083 \pm 5,065096$ | 0,06500000021 |
| Энергия потерь на утечке, %, $M \pm SD$ | $6,258188264 \pm 0,656$ | $3,0001 \pm 0,468728$ | 0,07800054 |
| Суммарная энергия потерь, mJ, $M \pm SD$ | $224,7946 \pm 8,291873$ | $237,5494 \pm 5,226364$ | 0,0000000019 |
| Суммарная энергия потерь, %, $M \pm SD$ | $27,27473826 \pm 0,87064$ | $28,86384 \pm 0,475745$ | 0,0000000026 |
| КПД, % | 86,35 | 71,13 | – |

При операции с сохранением корня аорты площадь открытия клапана была больше, скорость закрытия и, соответственно, потеря энергии ударного выброса была меньше из-за более быстрого «срабатывания». Также в «цилиндре» часто встречалось «прилипание» створки к протезу по эффекту Вентури, синусы же обеспечивали вихревые потоки, способствующие своевременному закрыванию створок.

Клинические наблюдения за результатами корень-сохраняющей и корень-выносящей операции

В клинических результатах показателей (корень-сохраняющей операции «Комаров» и корень-выносящей операции «Русский кондуит I»), которые до операции статистически значимо не отличались, КДО значительно снизился в группе «Комаров» ($p = 0,007$) спустя 3 нед. после операции., наблюдался больший регресс толщины стенок ЛЖ. Фракция выброса (ФВ) к этому сроку в группе «Комаров» была на 14,1% больше ($p = 0,016$).

Пиковый градиент у пациентов после операции «Комаров» составил $9,4 \pm 5,49$ мм рт. ст.; после опера-

ции «Русский кондуит» – $16,33 \pm 1,22$ мм рт. ст. ($p = 0,048$) (табл. 2).

Сохранение геометрии нативного корня аорты при операциях по типу Bentall улучшает показатели трансклапанной гемодинамики (обеспечивается оптимальное открытие и закрытие створок, минимальный трансклапанный градиент и минимальные потери энергии) в сравнении с классическим протезированием цилиндрическим клапаносодержащим кондуитом, что продемонстрировано в эксперименте. При оценке реальных клинических данных, полученных в нашей клинике, мы получили гемодинамические результаты, соотносящиеся с экспериментальными. При этом клиническая значимость сохранения корня аорты выражалась в лучших показателях ремоделирования камер сердца. Отсюда следует, что сохранение геометрии нативного корня аорты при операциях на нем дает преимущества в виде лучших показателей ремоделирования ЛЖ (уменьшаются масса миокарда левого желудочка (ММЛЖ) и КДО). Данная концепция экстраполируется на все операции на корне аорты.

Таблица 2. Клинические результаты корень-сохраняющей (Komarov) и корень-выносящей операции (Русский кондуит I)

Table 2. Clinical results of root-preserving (Komarov) and root-extracting surgery (Russian Conduit I)

| Параметры | До операции | | <i>p-value</i> | После операции | | <i>p-value</i> |
|---|---------------------------------------|---|----------------|---------------------------------------|---|----------------|
| | Комаров (корень-сохраняющая операция) | Русский кондуит I (корень-выносящая операция) | | Комаров (корень-сохраняющая операция) | Русский кондуит I (корень-выносящая операция) | |
| ТМЖП, см, $M \pm SD$ | $1,445 \pm 0,23$ | $1,25 \pm 0,1875$ | 0,151591 | $1,325 \pm 0,25$ | $1,2 \pm 0,175$ | 0,346 |
| ЗСЛЖ, см, $M \pm SD$ | $1,14 \pm 0,13$ | $1,02 \pm 0,125$ | 0,1436 | $1,1125 \pm 0,09$ | $1 \pm 0,125$ | 0,1427 |
| ММЛЖ, г, $M \pm SD$ | $217,875 \pm 44,375$ | $308,87 \pm 69,385$ | 0,0307 | $179,75 \pm 38$ | $255,1063 \pm 66,77$ | 0,0453 |
| ММЛЖ / ППТ, г/м ² , $M \pm SD$ | $117,875 \pm 27,15$ | $149,965 \pm 35,61$ | 0,1481 | $96,875 \pm 21,125$ | $122,97 \pm 33,38$ | 0,141 |
| КДО, мл, $M \pm SD$ | $88,5 \pm 15,62$ | $193 \pm 48,43$ | 0,0028 | $77,125 \pm 15,125$ | 123 ± 27 | 0,007 |
| ФВ, %, $M \pm SD$ | $66,25 \pm 5,125$ | $59,25 \pm 5,68$ | 0,129 | $64,125 \pm 3,06$ | $55 \pm 6,25$ | 0,016 |
| Макс. градиент, мм рт. ст., $M \pm SD$ | $48,625 \pm 8,125$ | $18,125 \pm 8,375$ | 0,0001 | $9,4 \pm 5,49$ | $16,33 \pm 1,22$ | 0,048 |

Примечание: ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки, ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка, ММЛЖ – масса миокарда левого желудочка, ППТ – площадь поверхности тела, КДО – конечно-диастолический объем, ФВ – фракция выброса.

Операция с использованием нового протеза «Русский кондуит II»

Операция проведена пациенту с гигантской аневризмой восходящего отдела аорты (до 7 см), тяжелой аортальной недостаточностью вследствие анулоэктазии фиброзного кольца.

В условиях фармакоологической кардиopleгии пересечена аневризматически измененная аорта, проведена глубокая мобилизация корня аорты, иссечены синусы Вальсальвы, устья коронарных артерий иссечены на «кнопках» и отведены за держалки.

При ревизии АК – анулоэктазия фиброзного кольца, створки клапана интактны. В данных условиях принято решение о проведении клапан-сохраняющей операции (рис. 3). С помощью 6 П-образных швов с минимальным вмешательством в проекции левой ножки пучка Гиса снаружи к основанию корня аорты фиксировано кольцо линейного протеза по методике Lansac с целью создания дополнительной опоры и профилактики послеоперационной дилатации кольца.

Далее проводится имплантация кондуита в аортальную позицию следующим образом: лигатура «Пролен

6-0» проводится с «бортика» на основание корня, начиная от низшей точки в центре основания синуса, далее шов ведется к смежным комиссурам.

В области комиссур под визуальным контролем швы накладываются таким образом, чтобы добиться максимального сближения створок. Плотное сопоставление створок в области комиссур (на протяжении примерно ¼ высоты створки) гарантирует запирающую функцию клапана, хорошее взаимодействие створок, отсутствие комиссуральной регургитации (что нередко наблюдается после неоксупидизации, так как неостворки имплантируются по отдельности). Дополнительно на места анастомоза наносится фибрин – тромбиновый клей.

После завершения имплантации проксимальной части кондуита проверяется запирающая функция клапана с помощью гидропробы.

Далее проводится имплантация коллекторов коронарных артерий (в виде «кнопок») в правый и левый неосинусы кондуита.

Дистальный анастомоз с неизменным участком аорты укрепляется обертыванием синтетическим протезом-профилактика вторичной аневризмы.

Время пережатия аорты составило 40 мин, время остановки сердца – 52 мин. Интраоперационно по данным чреспищеводной эхокардиографии – транс-

аортальный градиент – 2 мм рт. ст., регургитация – 0. Ниже представлены схемы и фотографии операции (см. рис. 3).

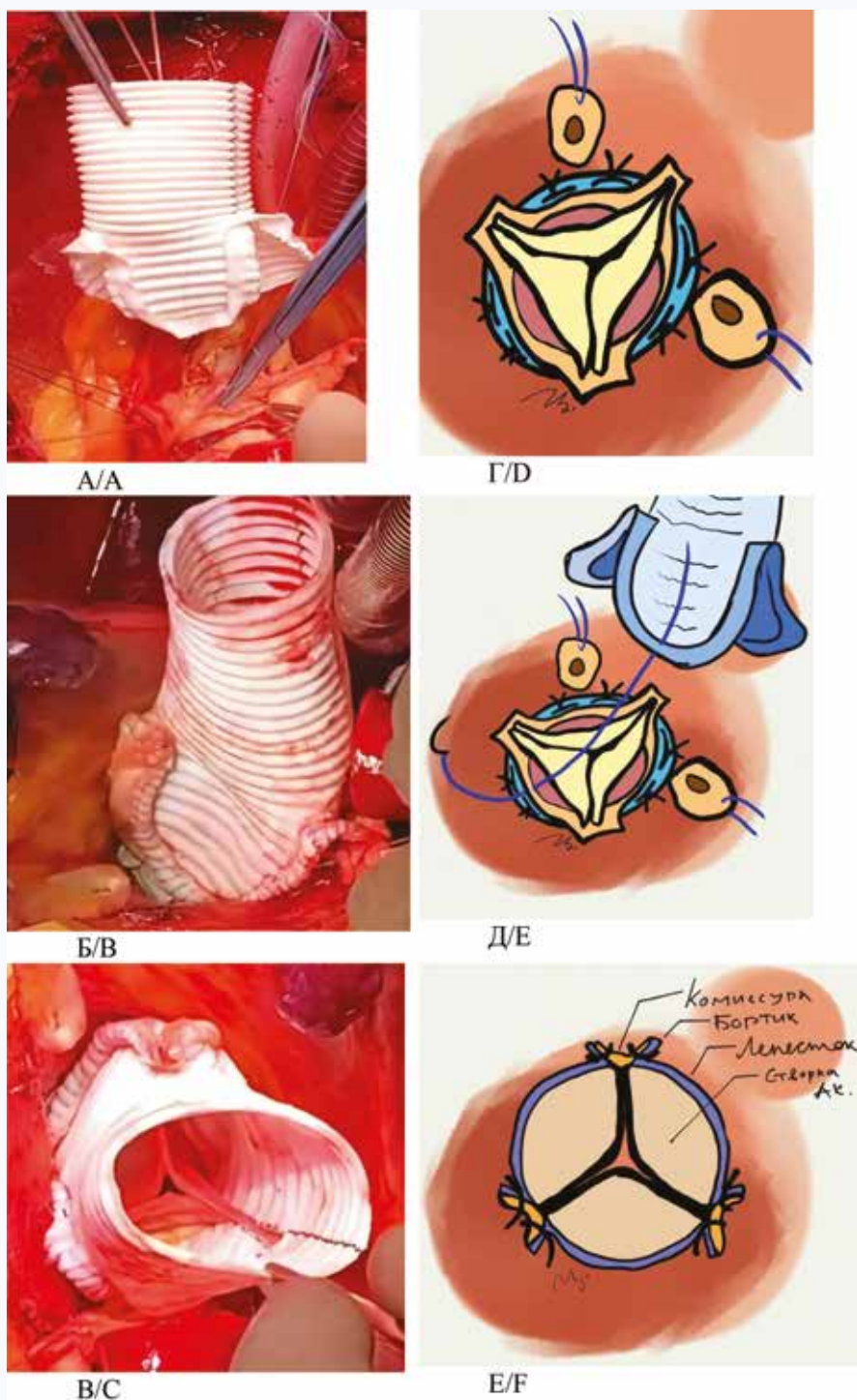


Рис. 3. Техника имплантации «Русского кондуита II» при операции с сохранением нативных аортальных створок. А–В – процесс имплантации «Русского кондуита II», Г – вид аортального клапана перед имплантацией кондуита, предварительно выполнена, Д – начало имплантации кондуита, первый шов через «бортик» и нижнюю точку корня аорты, Е – соотношение тканей синим отмечен протез в поперечном срезе, а именно, его «лепестки», которые имитируют синусы Вальсальвы, отмечена комиссура, от которой отходят створки нативного аортального клапана. Показано, что все швы выполнены за «бортик» и не контактируют с системным кровотоком
Fig. 3. Russian Conduit II implantation technique during surgery with preservation of native aortic flaps. А–С – process of Russian Conduit II implantation, D – view of the aortic valve before implantation of the conduit, previously performed, E – beginning of the conduit implantation, the first suture through the “rim” and the lower point of the aortic root, F – tissue correlation, blue indicates the prosthesis in cross-section, namely, its “petals”, which imitate the sinuses of Valsalva, marked is the commissure from which the native aortic valve flaps depart. It is shown that all sutures are made behind the “rim” and do not contact with the systemic blood flow

Обсуждение

Важно ли имитировать / сохранять естественную геометрию корня аорты?

Классической операцией по замене АК и восходящего отдела аорты является операция Bentall. В операции используют протез восходящей аорты в форме цилиндра и с расширением, что имитирует естественную анатомию корня аорты.

Вместе с этим исследований данного вопроса мало, до сих пор недостаточно данных, подтверждающих важность имитации или частичного сохранения естественной геометрии корня аорты. Проверка важности сохранения

или имитации корня аорты при протезировании АК и начального отдела аорты, может подтолкнуть к созданию протезов нового поколения, использование которых будет ассоциироваться с лучшими послеоперационными результатами.

Классификация операций на корне аорты

Мы предлагаем классификацию вмешательств на корне аорты (рис. 4). Данная классификация призвана систематизировать основные вмешательства на корне аорты, отразить объем вмешательства и определить место операции «Русский конduit II» среди остальных вмешательств.



Рис. 4. Классификация вмешательств на корне аорты. Показаны вмешательства на корне аорты, которые систематизированы в зависимости от сохранения геометрии корня аорты и нативных створок аортального клапана
Fig. 4. Aortic root interventions classification. Shows aortic root interventions that are systematized according to the preservation of aortic root geometry and native aortic valve cusps

Из вышепредставленной схемы видно, что конструктивным преимуществом операции с протезом «Русский конduit II» является повторение анатомии корня аорты, а именно, короновидной структуры аортального кольца и синусов Вальсальвы. По данным критериям операция близка к таким сложным вмешательствам как операция David-procedure [14], Yacoub-procedure, неокуспидизация створок в нативный корень аорты.

Возможности применения протеза «Русский конduit II»

«Русский конduit II» также возможно совместить с неокуспидизацией, зафиксировав неостворки за «бортики» протеза (рис. 5). Данная конструкция является альтернативной устройству протеза Bio-Bentall.

Применение протеза «Русский конduit II» в качестве лучшей альтернативы протезу Bentall

Данное изобретение отличается от операции выбора (операция Bentall [15]) по двум главным критериям. Во-первых, в отличие от створок в протезе Bio-Bentall, в предложенном нами изобретении створки состоят из собственных тканей организма – из аутоперикарда, обладающего наилучшей биосовместимостью. В то же время, в протезе Bio-Bentall [16] створки запирающего элемента состоят из нежизнеспособного биологического материала, как правило, из перикарда крупного рогатого скота.

Створки фиксированы специальным детергентом, чаще всего, глутаровым альдегидом, для снижения иммуногенности. Такая обработка обрекает биостворки на износ в течение 7–10 лет.

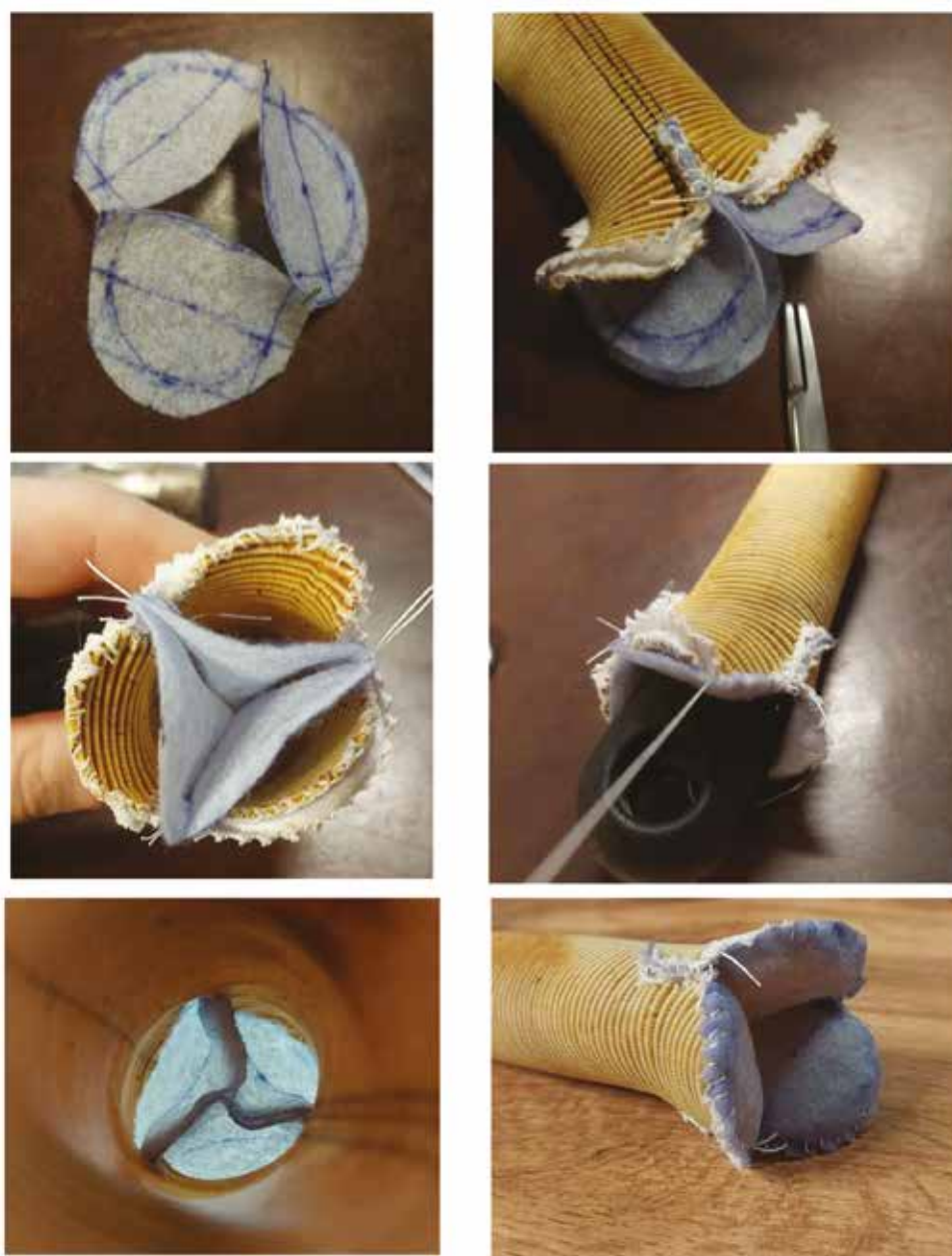


Рис. 5. Прототип «Русского кондуита II». Вариант использования кондуита с моделированием аортального клапана из биоткани (в данном случае ее имитирует ткань синего цвета)
Fig. 5. Prototype of the Russian Conduit II. Variant of the use of the conductor with modeling of the aortic valve from biotissue (in this case it is imitated by the tissue of blue color)

После этого требуется реоперация. В предложенном нами изобретении обработка аутоперикарда тоже проводится с применением глутарового альдегида, однако, она более мягкая. Стандартный режим обработки включает экспозицию аутоперикарда в растворе 0,6% в течение 7 мин.

Очевидно, что этого недостаточно для полной девитализации биоматериала, к тому же в случае с аутоперикардом данная цель не преследуется, так как собственная ткань в организме пациента окажется инертной. Мало

того, есть данные, что аутоперикард склонен к репопуляции клетками, пришедшими из системного кровотока, что является предиктором самообновления и реорганизации створок со временем.

Также заселение аутологичного неоаортального клапана клетками пациента является достаточно надежной защитой от кальциноза. Современные данные показывают, что применение аутологичного материала (на примере операции Ozaki – аутоперикардальная неокуспидизация с использованием шаблонов) дает преимущества

перед применением нежизнеспособного гетерогенного биоматериала (створок из ткани крупного рогатого скота): большая свобода от протез-зависимых осложнений – значимой регургитации, кальциноза, дегенерации створок [17], отсутствие возможной иммунной реакции на инородный биоматериал [18].

Во-вторых, в предлагаемом нами изобретении, в отличие от протеза Bio-Bentall, отсутствует жесткий каркас. Бескаркасный конduit, предложенный нами, позволяет менять площадь вентрикулоартериального соединения во время сердечного цикла и не препятствует всем естественным деформациям [19]. Сохранение физиологической циклической деформации корня аорты может улучшать результаты протезирования АК, особенно у пациентов с нарушенной функцией ЛЖ [20]. Помимо этого мы выяснили, что предложенный нами бескаркасный конduit имеет наименьший трансклапанный градиент давления, а также наименьшие потери энергии на открытии и закрытии створок. А площадь открытия клапана близка к физиологической площади открытия в нативном корне и равна $D \times 1,52$, где D – диаметр тубулярной части протеза, то есть размер нативной аорты в восходящем отделе.

В заключение стоит отметить, что протез повторяет естественную короновидную конфигурацию фиброзного кольца АК и имитирует синусы Вальсальвы. Это отличает данный протез от других серийных Вальсальва-графтов (которые производятся достаточно давно компанией CarboSeal™ и также имитируют геометрию корня аорты). Существующие в настоящее время Вальсальва-графты в основном применяются при операции David V и Bentall (в литературе – Bentall-procedure with Valsalva-graft [20]). Однако данные протезы невозможно использовать так же широко, так как их приходится интраоперационно моделировать. Протез, предложенный нами, универсален, его можно использовать вне зависимости от сохранности нативного клапана. Если хирург принимает решение о ресуспензии собственного клапана пациента – выполняет операцию, описанную в данной статье, если клапан не пригоден для восстановления – есть возможность провести аутоперикардальную неокуспидизацию в этот же протез.

В настоящее время ведется дальнейшая работа по выпуску полного размерного ряда протеза «Русский кон-

duit II», сбор отдаленных результатов, программа по внедрению операции в экспертных центрах.

Выводы

В первой и второй части исследования экспериментально показано, что естественная геометрия корня аорты создает лучшие условия для работы створок неоаортального клапана, что глобально выражается в меньшей трансклапанной потере КПД. Это оказалось клинически значимо при анализе послеоперационных результатов корень-сохраняющей операции – отмечалось более заметное обратное ремоделирование ЛЖ, чем в группе корень-выносящей операции.

Предложенный нами протез может использоваться как для клапан-сохраняющего вмешательства (замена корня аорты с сохранением нативного клапана, как при операции Yacoub), так и для замены корня аорты вместе с АК, выкроенным из аутоперикарда интраоперационно (как при операции «Русский конduit I»). Это является важным преимуществом «Русского кондуита II», так как позволяет в зависимости от интраоперационной картины лишь незначительно модифицировать технику подготовки протеза, а не полностью менять технику операции (например, с операции Yacoub на Bio-Bentall).

В данной статье продемонстрирована возможность успешного проведения замены корня аорты с использованием разработанного нами протеза. Подробно описана техника операции, показано, что данная техника операции может являться стандартизированной и воспроизводимой в отличие от ближайших аналогов, результаты выполнения которых могут быть оператор-зависимыми.

Нам удалось достичь хорошего гемодинамического результата операции, мы продолжим собирать отдаленные послеоперационные результаты. На данный момент можно сделать вывод о том, что применение протеза «Русский конduit II» ассоциируется с более удобной имплантацией, сокращением времени операции за счет отсутствия необходимости в интраоперационном моделировании протеза, минимизацией оператор-зависимых ошибок в связи с использованием серийного продукта, подготовленного по формулам, приближенным к естественной анатомии.

Литература / References

1. Mookhoek A., Korteland N.M., Arabkhani B., Di Centa I., Lansac E., Bekkers J.A. et al. Bentall procedure: A systematic review and meta-analysis. *Ann. Thorac. Surg.* 2016;101(5):1684–1689. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.10.090.
2. Bentall H.H., Cleland W.P., Oakley C.M., Shah P.M., Steiner R.E., Goodwin J.F. Surgical treatment and post-operative haemodynamic studies in hypertrophic obstructive cardiomyopathy. *Br. Heart J.* 1965;27(4):585–594. DOI: 10.1136/hrt.27.4.585.
3. Sakai K., Kubota H., Murakami T., Kuroda H., Yokota H. [Bentall's procedure for the treatment of aortic valve insufficiency and dissecting aortic aneurysm secondary to Marfan's syndrome]. *Kyobu Geka.* 1977;30(2):196–200. (In Japan).
4. Leontyev S., Schamberger L., Davierwala P.M., Von Aspern K., Etz C., Lehmann S. et al. Early and late results after David vs Bentall Procedure: A propensity matched analysis. *Ann. Thorac. Surg.* 2020;110(1):120–126. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2019.10.020.
5. Ozaki S. [Aortic valve construction]. *Kyobu Geka.* 2011;64(5):368–369. (In Japan.).
6. Arutyunyan V., Chernov I., Komarov R., Sinelnikov Y., Kadyraliev B., Enginoyev S. et al. Immediate outcomes of aortic valve neocuspidization with glutaraldehyde-treated autologous pericardium: A multicenter study. *Braz. J. Cardiovasc. Surg.* 2020;35(3):241–248. DOI: 10.21470/1678-9741-2020-0019.
7. Ross D.N., Radley-Smith R., Somerville J. Pulmonary autograft replacement for severe aortic valve disease. *Br. Heart J.* 1969;31(6):797–798. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5358182/>. (31.05.2024).
8. Komarov R., Chernov I., Enginoyev S., Sá M.P.B.O., Tarasov D. The Russian Conduit – combining Bentall and Ozaki procedures for concomitant ascending aorta replacement and aortic valve neocuspidization. *Braz. J. Cardiovasc. Surg.* 2019;34(5):618–623. DOI: 10.21470/1678-9741-2019-0329.
9. Ross D., Yacoub M.H. Homograft replacement of the aortic valve. A critical review. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 1969;11(4):275–293. DOI: 10.1016/0033-0620(69)90054-1.
10. Youssefi P., Di Centa I., Khelil N., Debauchez M., Lansac E. Valve sparing root replacement: remodeling root repair with aortic ring annuloplasty. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2019;8(3):411–414. DOI: 10.21037/acs.2019.04.01.
11. Pitts L., Van Praet K.M., Montagner M., Kofler M., Falk V., Kempfert J. David procedure as valve-sparing root replacement. *Surg. Technol. Int.* 2022;41:st141/1593. DOI: 10.52198/22.ST1.41.CV1593.
12. Itaya N., Sasaki K.I., Takaseya T., Sasaki M., Yamaji K., Honda A. et al. Transcatheter aortic valve implantation for aortic valve stenosis 17 years after aortic root remodeling via the Yacoub method. *J. Cardiol. Cases.* 2023;27(6):287–289. DOI: 10.1016/j.jccase.2023.02.018.
13. Yacoub M.H., Aguib H., Gamrah M.A., Shehata N., Nagy M., Donia M. et al. Aortic root dynamism, geometry, and function after the remodeling operation: Clinical relevance. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2018;156(3):951–962.e2. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2018.03.157.

14. Shrestha M., Boethig D., Krüger H., Kaufeld T., Martens A., Haverich A. et al. Valve-sparing aortic root replacement using a straight tube graft (David I procedure). *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2023;166(5):1387–1397. e10. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2022.01.061.
15. Karadzha A., Bogachev-Prokophiev A., Sharifulin R., Ovcharov M., Pivkin A., Afanasyev A. The Bio-Bentall procedure with concomitant hemiarch replacement through a right anterolateral minithoracotomy. *Multimed. Man Cardiothorac. Surg.* 2022;2022. DOI: 10.1510/mmcts.2022.016.
16. Lechiancole A., Vendramin I., Sponga S., Piani D., Benedetti G., Meneguzzi M. et al. Bentall procedure with the CarboSeal™ and CarboSeal Valsalva™ composite conduits: long-term outcomes. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2021;33(1):93–100. DOI: 10.1093/icvts/ivab045.
17. Unai S., Ozaki S., Johnston D.R., Saito T., Rajeswaran J., Svensson L.G. et al. Aortic valve reconstruction with autologous pericardium versus a bioprosthesis: The Ozaki procedure in perspective. *J. Am. Heart Assoc.* 2023;12(2):e027391. DOI: 10.1161/JAHA.122.027391.
18. Levy R.J., Schoen F.J., Howard S.L. Mechanism of calcification of porcine bioprosthetic aortic valve cusps: role of T-lymphocytes. *Am. J. Cardiol.* 1983;52(5):629–631. DOI: 10.1016/0002-9149(83)90040-1.
19. Thubriker M., Nolan S.P., Bosher, L.P., Deck J.D. The cyclic changes and structure of the base of the aortic valve. *Am. Heart J.* 1980;99(2):217–224. DOI: 10.1016/0002-8703(80)90768-1.
20. Lechiancole A., Vendramin I., Sponga S., Piani D., Benedetti G., Meneguzzi M. et al. Bentall procedure with the CarboSeal™ and CarboSeal Valsalva™ composite conduits: long-term outcomes. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2021;33(1):93–100. DOI: 10.1093/icvts/ivab045.

Информация о вкладе авторов

Комаров Р.Н. — вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

Царегородцев А.В. — вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, полная ответственность за содержание.

Ткачев М.И. — получение, анализ и интерпретация данных исследования, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

Сведения об авторах

Комаров Роман Николаевич, д-р мед. наук, профессор, Клиника сердечно-сосудистой хирургии, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, <http://orcid.org/0000-0002-3904-6415>.

E-mail: komarov_r_n@staff.sechenov.ru.

Царегородцев Антон Владимирович, студент, РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, <http://orcid.org/0000-0001-7181-3779>.

E-mail: 89229938920@yandex.ru.

Ткачев Максим Игоревич, канд. мед. наук, ассистент, Клиника сердечно-сосудистой хирургии, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, <http://orcid.org/0000-0002-2252-7773>.

E-mail: tkachev_m_i@staff.sechenov.ru.

 **Царегородцев Антон Владимирович**, e-mail: 89229938920@yandex.ru.

Information on the author's contribution

Комаров Р.Н. — study concept and design, obtaining, analyzing and interpreting research data, article editing, approving the final version for publication, full responsibility for the content.

Tsaregorodtsev A.V. — study concept and design, obtaining, analyzing and interpreting research data, article editing, full responsibility for the content.

Tkachev M.I. — obtaining, analyzing and interpreting research data, approving the final version for publication, full responsibility for the content.

Information about the author

Roman N. Komarov, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Institute of Professional Education of the Sechenov University, Moscow, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-3904-6415>.

E-mail: mkomarov@mail.ru.

Anton V. Tsaregorodtsev, Student, Federal State Educational Institution of Higher Education named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia, <http://orcid.org/0000-0001-7181-3779>.

E-mail: 89229938920@yandex.ru.

Maksim I. Tkachev, Cand. Sci. (Med.), Assistant, Cardiovascular Surgery Clinic, Institute of Professional Education of the Sechenov University, Moscow, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-2252-7773>.

E-mail: tkachev_m_i@staff.sechenov.ru.

 **Anton V. Tsaregorodtsev**, e-mail: 89229938920@yandex.ru.

Received 11.04.2024;
review received 31.05.2024;
accepted for publication 04.06.2024.

Поступила 11.04.2024;
рецензия получена 31.05.2024;
принята к публикации 04.06.2024.