

Кардиопротективная роль артериальных кондуитов

А.В. ФРОЛОВ, Н.И. ЗАГОРОДНИКОВ

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Россия

В обзорной статье изложено современное представление о роли использования в коронарном шунтировании артериальных кондуитов как особых трансплантатов, обладающих кардиопротективным действием.

Ключевые слова: артериальные кондуиты, коронарное шунтирование, кардиопротективная функция.

Cardioprotective role of arterial conduits

A.V. FROLOV, N.I. ZAGORODNIKOV

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

The review describes current vision about the role of arterial conduits usage in coronary artery bypass grafting as the specific transplants having cardioprotective action.

Keywords: arterial conduits, coronary artery bypass grafting, cardioprotective function.

Сведения об авторах:

Фролов Алексей Витальевич — к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург, старший научный сотрудник лаборатории реконструктивной хирургии мультифокального атеросклероза НИИ КПССЗ

Загородников Никита Игоревич — аспирант НИИ КПССЗ по направлению сердечно-сосудистая хирургия; e-mail: zn.cardio@gmail.com; тел.: +7(3842)64-0569 (автор, ответственный за переписку)

Введение

Еще недавно считалось, что некоторые артериальные кондуиты, в частности внутренняя грудная артерия (ВГА), за счет своей морфологии и схожести с коронарными артериями обладают наибольшей анатомической и физиологической конгруэнтностью, особенно в отношении передней нисходящей артерии (ПНА) и диагональной ветви (ДВ), став «золотым стандартом» в коронарном шунтировании (КШ). Наряду с ВГА в современной кардиохирургии для реваскуляризации миокарда активно применяются и другие артериальные кондуиты, такие как лучевая артерия (ЛА), правая желудочно-сальниковая артерия (ПЖСА) и более редкие варианты, которые в изолированном виде либо в комбинации с ВГА представляют собой широкий спектр для артериального КШ. Согласно рекомендациям ESC/EACTS 2018 г. во всех случаях, кроме редких, пациентам необходимо выполнить шунтирование как минимум одной артерии аутоартериальным кондуитом, предпочтительно в системе левой коронарной артерии (ЛКА), используя левую грудную артерию. Использование обеих ВГА и ЛА также считается более предпочтительным для шунтирования коронарных артерий (КА) вне системы ПНА, особенно для артерии системы ЛКА [1].

Вместе с тем, несмотря на такое обилие кондуитов и их активное применение в связи с хорошей состоятельностью в отдаленном периоде по сравнению с венами, в современных рекомендациях в последнее время все больше внимания уделяется механизмам, объясняющим не толь-

ко их долгосрочное функционирование, но и влияние на само коронарное русло. При сравнении венозных и артериальных кондуитов оказалось, что именно последние обладают особым профилактическим антиатерогенным потенциалом в отношении нативных КА, а значит, именно они способны значительно улучшать функцию сердечной мышцы.

С точки зрения профилактического потенциала артериальных кондуитов возможно рассмотреть три основных пути их реализации: во-первых, это использование кондуитов «in situ», при сохранении питающей ножки, а значит и возможности полноценной передачи вазоактивных веществ в дистальное русло, во-вторых, комpositное или составное шунтирование, в основе которого к кондуиту «in situ» подшивается другой артериальный кондуит, и, наконец, в-третьих, применение свободных артериальных кондуитов, соединяющих аорту (Ao) и КА, обладающих также в определенной степени вазоактивной продукцией веществ за счет анатомической схожести между артерией-донором и артерией-реципиентом, образуя своеобразный артерио-артериальный континуум.

Артериальный кондуит «in situ»

Понятие «in situ» в отношении артериальных кондуитов для КШ всегда предполагает сохранение нативного кровотока через один из его концов: для ВГА — это ее проксимальная часть, исходящая от подключичной артерии, для ПЖСА — от желудочно-дуоденальной артерии. Фактически пионером использования артериального кондуита «in situ» был канадский хирург А. Vineberg, который для реваскуляризации сердца использовал ВГА, имплантируя ее

дистальный конец напрямую в толщу миокарда. Данная операция, получившая широкое применение в 1950-х годах, стала носить название «процедура Вайнберга» [2]. Важно и то, что наряду с этим появились и другие модификации «in situ»: имплантация в миокард эпигастральной, селезеночной, межреберной артерий, физиологическим апофеозом которых стал впервые наложенный анастомоз между ВГА «in situ» и КА советским и российским ученым и хирургом В.И. Колесовым в 1964 г. [3]. Схожую эволюцию претерпела ПЖСА, пока ее также не стали активно использовать, начиная с 1980-х годов, практически одновременно канадец J. Рут и японец Н. Suma в варианте «in situ» для шунтирования преимущественно КА, расположенных на задней стенке сердца [4].

Иным подтипом применения артериального кондукта «in situ» является также секвенциальное («jumping» или «snake») шунтирование, когда одна и та же артерия, имеющая единую питающую ножку, анастомозируется с двумя КА и более либо с одной и той же, но на разных ее уровнях. Впервые такое шунтирование применил D. Johnson еще в 1970-х годах, однако обоснование указанная техника получила посредством А. Тестор [5], которая в настоящее время стала рутинно применяться в практике КШ.

Но в чем же заключается главное преимущество использования артериального кондукта «in situ»? Наиболее вероятным объяснением может быть именно наличие питающей ножки самого артериального трансплантата, которая максимально приближает создаваемую систему кондукта и нативной КА к физиологической, когда поток крови не только является естественным в проксимальном участке, но и не повреждается единство эндотелиального слоя. Тот факт, что ВГА можно с успехом использовать даже при повторных КШ, сохраняя свое положение «in situ», говорит о высоком анатомо-физиологическом потенциале, так как, вероятно, наличие проксимально отходящей ВГА от подключичной артерии в неотсеченном виде для использования ее как свободного графта имеет особое значение в долгосрочном функционировании кондукта [6]. Кроме этого, доказано, что ВГА с физиологической точки зрения является важным донором оксида азота (NO)/простациклина, имеет высокий резервный кровоток, высокую способность к вазодилатации, низкую чувствительность к вазоспазму, в ответ на тромбин отвечает релаксацией, а процесс липолиза в стенке происходит достаточно быстро, устраняя тем самым плацдарм для развития атеросклероза [7]. Все эти факторы надежно защищают ВГА от преждевременного атеросклероза. Однако, учитывая ее взаимодействие с нативной КА после наложения анастомоза, эти же факторы могут оказывать протективное влияние и на миокард в целом.

В работе Т. Ferguson довольно подробно изложены пред-, интра- и послеоперационные факторы, влияющие на артериальную реваскуляризацию миокарда кондуктами «in situ», вместе с тем вопрос о том, почему такой вариант использования трансплантата наиболее физиологичный, выходит за рамки этой работы и, к сожалению, также не раскрывает его плюсы и минусы [8].

Одно из крупных и основных клинических исследований по изучению влияния артериальных кондуктов на нативные КА было проведено в Нью-Йорке и опубликовано в 2012 г. Группа ученых анализировала возможность различных кондуктов оказывать эффект на прогрессирование атеросклероза в ранее шунтируемых КА. В исследование вошли около 5000 пациентов после КШ, у которых в каче-

стве кондуктов использовались ВГА «in situ», ЛА и большая подкожная вена (БПВ). Авторы доказали, что в целом использование ВГА защищает шунтируемую артерию от рестеноза на 83%, ЛА на 76%, а БПВ только на 36% в отдаленном послеоперационном периоде [9]. Результаты другого исследования, проведенного в 2017 г. R. Sajjad и соавт., также убедительно показали, что даже у пациентов с умеренными стенозами КА прогрессирование атеросклероза идет намного медленнее в артериях, шунтируемых ВГА «in situ» по сравнению с БПВ, что также свидетельствует об их высокой протективной роли [10].

Механизм указанного феномена до конца не ясен. Имеются лишь отдельные факты, в совокупности говорящие не только о механической реканализации сосуда в обход его пораженного сегмента, но и о воздействии на него выбранного кондукта за счет, вероятно, биохимических и гистологических факторов. В частности, еще в 1998 г. Н. Nishioka и соавт. доказали достоверное различие между ВГА и БПВ у пациентов после проведенного КШ, так как кондукты имели разную степень эндотелиальной секреции NO в дистальном участке шунта, а при введении пациентам цетилхолина, который способствовал продукции NO, огибающая артерия (ОА), шунтируемая ВГА, расширялась значительно сильнее, чем при ее шунтировании БПВ. В ходе анализа оказалось, что использование ВГА способствовало вазодилатации нижележащего участка КА за зоной дистального анастомоза в среднем на 7%, в то время как использование БПВ вызывало вазоконстрикцию на 9% от исходного диаметра КА [11].

В целом эндотелиальный слой сосуда имеет, вероятно, ключевое значение в протективных свойствах артериального русла после КШ. Кроме указанного фактора имеются данные о корреляции между прогрессированием коронарного атеросклероза и циркулирующими в крови эндотелиальными прогениторными клетками (ЭПК), которые ответственны за регенеративные процессы в сосудах, в частности в КА. Поэтому низкая их активность может предопределять более агрессивное течение атеросклероза в нативных КА, чему как раз могут противостоять в большей степени именно артериальные кондукты [12].

Несмотря на свой относительно небольшой размер, ВГА — уникальный сосуд, в нормальном физиологическом состоянии кровоснабжает огромное количество важнейших анатомических структур, среди которых можно выделить перикард, диафрагмальный нерв, грудину, переднюю часть грудной и брюшной стенок, молочную железу, а также диафрагму. Обладая таким широким полем кровоснабжения, ВГА также продуцирует большое количество NO, защищающего артерии указанных органов от вазоспазма [13]. В экспериментальной работе с использованием иммуногистохимических методов М. Vuuyukates и соавт. показали, что более долгое нахождение ВГА в состоянии «in situ», включая ее полную системную перфузию без наложения клипа на дистальную часть после ее выделения вплоть до момента непосредственного формирования анастомоза с КА, способствует лучшей продукции ВГА вазоактивных веществ за счет максимально длительного сохранения анатомического единства эндотелиального слоя на всем ее протяжении [14]. Указанный факт также позволяет объяснить, что главным преимуществом «in situ» является именно такое максимальное анатомо-гистологическое единство активного внутреннего слоя ВГА, который начинается еще в подключичной артерии и продолжается далее в ее бифур-

кацию, состоящую из *a. musculophrenica* и *a. epigastrica superior*.

Композитное шунтирование на основе артериального кондуита «in situ»

Еще одним путем реализации коронарной протекции от атеросклероза после выполнения КШ является другая, схожая модель, когда к артериальному кондуиту «in situ» подшивается другой артериальный кондуит, создавая тем самым некоторое подобие сосудистого «неодерева», продуцирующего вазоактивные вещества. Первые исследования композитного шунтирования были начаты еще в 1980-х годах, и одним из классических примеров стал так называемый Т-шунт, предложенный А. Тестор [15]. В начале 1990-х годов итальянец А. Салафиоре также активно внедрял этот вид шунтирования, при котором в качестве дополнительного, подшиваемого артериального кондуита использовались ВГА, ПЖСА, ЛА и нижняя эпигастральная артерия [16]. В настоящее время существует большое количество вариантов композитного артериального шунтирования [17]. Зачастую секвенциальное шунтирование, о котором говорилось выше, сочетается с композитным, и таким образом удается реваскуляризировать максимально возможное количество КА, особенно в условиях Off-pump и в рамках технологии «no-touch aorta» [18].

Механизм, лежащий в основе протективного действия шунтируемых КА, аналогичен первому варианту за счет, прежде всего, артерии-донора ВГА «in situ». Указанное действие подтверждается опять-таки результатами исследования 2012 г. К. Dimitrova и соавт., в котором ЛА использовались в композите с ВГА также с положительным влиянием на КА [9].

Но кроме высокой вазоактивности самой ВГА, в ходе композитного аутоартериального шунтирования существует еще и другой механизм, способный дополнительно улучшать кровоток по нативным КА, защищая их от атеросклероза. Так, ранее в работе А. Rouse и соавт. было продемонстрировано, что использование ЛА в качестве Y-графта с ВГА «in situ» приводило к увеличению кровотока, поступающего в КА, в 2, 3 раза [19]. В другом интересном исследовании М. Lemma и соавт., известных специалистов в области композитного шунтирования, сравнивали воздействие кровотока на стенку ВГА «in situ» и ВГА «in situ» в композите с ЛА. Было доказано, что непосредственно после наложения составного анастомоза по нему пассивно увеличивался кровоток за счет низкого сопротивления в системе Y-композиционного шунта. С другой стороны, увеличение потока через такой шунт приводило к росту напряжения сдвига сосудистой стенки за счет большего трения жидкости, вызывая более мощный выброс NO, чем при обычных условиях. Авторы отметили, что вследствие большого количества NO происходила дополнительная вазодилатация ВГА, особенно на 5-е сутки после реваскуляризации миокарда [20]. Указанный механизм играет важную роль в кардиопротективном эффекте артериальных кондуитов, что суммарно делает второй путь реализации профилактики КА от атеросклероза еще более продуктивным, чем первый.

Однако в ходе клинко-ангиографического исследования Y. Hwang и соавт., в котором авторы сравнили проходимость и состоятельность шунтов спустя 5 лет и клинические проявления кардиоваскулярных событий в отдаленном периоде между группами бимаммарного коронарного шунтирования (БиМКШ) «in situ» и композитного шунти-

рования с использованием обеих ВГА, никакой достоверной разницы обнаружено не было [21].

Вместе с тем эти же авторы в другом исследовании показали, что даже использование в качестве такого свободного кондуита ПЖСА в сравнении с правой ВГА в композите с левой ВГА «in situ» также в сроки до 5 лет согласно ангиографическим показателям и крупным кардиоваскулярным событиям в отдаленном периоде не имеет достоверной разницы между используемыми трансплантатами [22]. Все это требует дальнейшего более детального изучения композитного шунтирования как такового и его кардиопротективного эффекта.

Свободные артериальные кондуиты между аортой и КА

В настоящее время существует множество примеров, когда используются различные свободные артериальные кондуиты. Однако наиболее часто между Ао и КА в настоящее время применяются ЛА [23], ВГА [24] и в редких случаях ПЖСА [25]. Наибольший опыт имеется в отношении свободного кондуита ЛА. Так, в исследовании D. Tam и соавт. была показана протективная роль свободной ЛА, особенно в отношении правой КА (ПКА) и ОА в сравнении с БПВ, причем независимо как у мужчин, так и у женщин [26].

По всей вероятности, одним из положительных эффектов, несмотря на свободную, «отсеченную» от питающей ножки форму такого кондуита, и прежде всего ВГА и ПЖСА, является некоторый сохраняющийся артерио-артериальный континуум. Так или иначе, анатомо-физиологическая схожесть любой свободной артерии-донора, артерии-кондуита и артерии-реципиента, способность продуцировать антиатерогенные и вазоактивные вещества порождают благоприятный фон для профилактики прогрессирования атеросклероза в нативных КА.

R. Tranbaugh и соавт. на более чем 13 000 пациентов в отдаленном периоде после КШ показали, что свободный кондуит ЛА предпочтительнее БПВ, особенно у пациентов моложе 70 лет. Кроме этого, авторы отметили, что даже у пациентов более старшего возраста тактика с использованием второго кондуита в качестве ЛА в ряде случаев также возможна [27]. В другом исследовании японские ученые при ангиографическом сравнении использования свободного кондуита правой ВГА и правой ВГА «in situ» в ранние сроки и через 1 год пришли к выводу, что обе методики достоверно сопоставимы, однако отметили, что лучшим выбором является применение «in situ» ВГА, что отражает тот потенциал, который несет в себе артериальный кондуит, имеющий питающую ножку [28].

В литературе описаны редкие случаи использования свободного кондуита ПЖСА, который накладывается между Ао и нативной КА, и такие сведения немногочисленные [29], так как требуют технически непростого наложения проксимального анастомоза с использованием фрагмента БПВ или аутоперикарда [30], а протективное действие такого кондуита вообще не изучено в положении Ао-КА.

Вместе с тем единая артерио-артериальная взаимосвязь, создаваемая между Ао, любым свободным артериальным кондуитом и КА, так или иначе формирует морфофункциональную систему «кондуит—артерия», в которой в силу большой схожести как гистологии, так и возможности продукции вазоактивных веществ создается благоприятный фон для воздействия на коронарное русло.

Интересные исследования, косвенно говорящие о мощном кардиопротективном потенциале артериальных

кондуитов, можно найти в области смежной эндоваскулярной хирургии. В небольшой работе Н. Могі и соавт., посвященной проблеме патологических изменений в области стентирования как голометаллическими стентами, так и с лекарственным покрытием ВГА, зоны анастомоза с КА и самой КА, было показано, что процесс неоатеросклероза возникал чаще именно в зоне самого стента, находящегося в КА. Ссылаясь на биохимические и гистологические факторы ВГА, авторы доказывают, почему она способна активно противостоять новому механическому поражению, т.е. хирургической травме, полученной в ходе имплантации стента. В этой же работе приводится пример сравнения стентирования ВГА и БПВ, в котором исследователи S. Yazdani и соавт. продемонстрировали, что стентированные аутоартерии на 39% (33% для голометаллических и 44% для стентов с лекарственным покрытием) более склонны к дальнейшему развитию атеросклероза и изменениям в них по сравнению с ВГА [31].

Многочисленные ангиографические исследования также показали, что имплантация стента в КА, несмотря на устраняемый стеноз или даже окклюзию, нарушает функцию самой КА и ее способность к дальнейшей защите от развития неоатеросклероза, вместе с тем кондуиты КШ, в частности аутоартериальные, способны противостоять этому, осуществляя свой кардиопротективный эффект за счет адекватного поддержания системного давления и продукции вазоактивных веществ [32].

Известные трансрадиальные манипуляции на КА приводят к повреждениям интимы и регуляции вазодилататор-

ной функции ЛА за счет катетерного инструментария, вместе с тем описаны случаи, например E. Dawson и соавт., в которых утверждается, что после указанных процедур через ЛА последняя восстанавливается спустя 3 мес [33]. Возможно, такая реактивность в плане восстановления функции и морфологии также может играть роль в протективном эффекте при наложении ЛА в качестве коронарного шунта.

Заключение

Изучение артериальных кондуитов в контексте их кардиопротективной роли играет очень важную не только фундаментальную, но и практическую роль. Несмотря на незначительный процент выполнения КШ с использованием аутоартерий, непосредственные и отдаленные результаты в целом превосходят таковые по сравнению с применением в качестве основных трансплантатов БПВ. Причин на то существует много, но одной из них, возможно, является как раз недооценка протективной функции КА после аутоартериального КШ. Современные гистохимические и молекулярно-генетические методы исследования позволят в будущем понять существующую инертность в применении артерий в качестве кондуитов и расширить новые горизонты для их более частого использования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Franz-Josef Neumann, Miguel Sousa-Uva, Anders Ahlsson, Fernando Alfonso, Adrian P Banning, Umberto Benedetto, Robert A Byrne, Jean-Philippe Collet, Volkmar Falk, Stuart J Head, Peter Jüni, Adnan Kastrati, Akos Koller, Steen D Kristensen, Josef Niebauer, Dimitrios J Richter, Petar M Seferović, Dirk Sibbing, Giulio G Stefanini, Stephan Windecker, Rashmi Yadav, Michael O Zembala, ESC Scientific Document Group; 2018 ESC/EACTS. Guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*, 2018; ehy394. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>
2. Katrapati P, George JC. Vineberg operation: a review of the birth and impact of this surgical technique. *The Annals of Thoracic Surgery*. 86(5);1713-1716. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.05.072>
3. Sedov VM, Nemkov AS. Vasilii Ivanovich Kolesov: pioneer of coronary surgery. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 45(2):220-224. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezt605>
4. Suma H. The Right Gastroepiploic Artery Graft for Coronary Artery Bypass Grafting: A 30-Year Experience. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*. 2016; 49(4):225-231. https://doi.org/10.1007/s-540-30084-8_21
5. Tector AJ, Schmahl TM. Techniques for multiple internal mammary artery bypass grafts. *The Annals of Thoracic Surgery*. 1984;38(3):281-286. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(10\)62252-7](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)62252-7)
6. Nwaejike N, Tennyson C, Mosca R. Reusing the patent internal mammary artery as a conduit in redo coronary artery bypass surgery. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*. 2016;22:3:346-350. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv338>
7. Otsuka F, Yahagi K, Sakakura K, Virmani R. Why is the mammary artery so special and what protects it from atherosclerosis? *Annals of Cardiothoracic Surgery*. 2013;2(4):519-526. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2013.07.06>
8. Ferguson TB Jr. Physiology of in-situ arterial revascularization in coronary artery bypass grafting: Preoperative, intraoperative and postoperative factors and influences. *World Journal of Cardiology*. 2016;8(11):623-637. <https://doi.org/10.4330/wjc.v8.i11.623>
9. Dimitrova KR, Hoffman DM, Geller CM, Dincheva G, Ko W, Tranbaugh RF. Arterial grafts protect the native coronary vessels from atherosclerotic disease progression. *The Annals of Thoracic Surgery*. 94(2):475-481. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2012.04.035>
10. Raza S, Blackstone EH, Houghtaling PL. Natural History of Moderate Coronary Artery Stenosis After Surgical Revascularization. *The Annals of Thoracic Surgery*. 105(3):815-821. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.08.053>
11. Nishioka H, Kitamura S, Kameda Y, Taniguchi S, Kawata T, Mizuguchi K. Difference in acetylcholine-induced nitric oxide release of arterial and venous grafts in patients after coronary bypass operations. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 13(2):236. [https://doi.org/10.1016/s1053-0770\(99\)90106-4](https://doi.org/10.1016/s1053-0770(99)90106-4)
12. Briguori C, Testa U, Riccioni R, Colombo A, Petrucci E, Condorelli G, Mariani G, D'Andrea D, De Micco F, Rivera NV, Puca AA, Peschle C, Condorelli G. Correlations between progression of coronary artery disease and circulating endothelial progenitor cells. *FASEB J*. 2010;24(6):1981-1988. <https://doi.org/10.1096/fj.09-138198>
13. Sajja LR, Mannam G. Internal thoracic artery: anatomical and biological characteristics revisited. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*. 23(1):88-99. <https://doi.org/10.1177/0218492314523629>
14. Buyukates M, Kandemir O, Gun BD, Aktunc E, Kurt T. Immunohistochemical Comparison of Traditional and Modified Harvesting of the Left Internal Mammary Artery. *Texas Heart Institute Journal*. 2007;34(3):290-295.
15. Raja SG. Composite arterial grafting. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*. 4(4):523-533. <https://doi.org/10.1586/14779072.4.4.523>
16. Calafiore AM, Di Giammarco G, Luciani N, Maddestra N, Di Nardo E, Angelini R. Composite arterial conduits for a wider arterial myocardial revascularization. *The Annals of Thoracic Surgery*. 58(1):185-190. [https://doi.org/10.1016/0003-4975\(94\)91097-9](https://doi.org/10.1016/0003-4975(94)91097-9)
17. Yuan SM, Shinfeld A, Raanani E. Configurations and classifications of composite arterial grafts in coronary bypass surgery. *Journal of Cardiovascular Medicine*. 2008;9(1):3-14. <https://doi.org/10.2459/jcm.0b013e3280110628>
18. Nakajima H, Kobayashi J, Toda K, Fujita T, Iba Y, Shimahara Y, Kitamura S. Safety and efficacy of sequential and composite arterial grafting to more than five coronary branches in off-pump coronary revascularisation: assess-

- ment of intra-operative and angiographic bypass flow. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 37(1):94-99. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2009.06.047>
19. Royses AG, Royses CF, Groves KL, Yu G. Blood flow in composite arterial grafts and effect of native coronary flow. *The Annals of Thoracic Surgery*. 68(5):1619-1622. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(99\)00862-0](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(99)00862-0)
 20. Lemma M, Innorta A, Pettinari M, Mangini A, Gelpi G, Piccaluga M, Danna P, Antona C. Flow dynamics and wall shear stress in the left internal thoracic artery: composite arterial graft versus single graft. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2006;29(4):473-478. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.01.035>
 21. Hwang H, Kim J, Cho K, Kim K. Bilateral Internal Thoracic Artery In Situ Versus Y-Composite Graftings: Five-Year Angiographic Patency and Long-Term Clinical Outcomes. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2011;92(2):579-586. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.03.145>
 22. Hwang HY, Cho KR, Kim KB. Equivalency of Right Internal Thoracic Artery and Right Gastroepiploic Artery Composite Grafts: Five-Year Outcomes. *The Annals of Thoracic Surgery*. 96(6):2061-2068. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.07.003>
 23. Kim D, Lee S, Joo H, Yoo K, Youn Y. Effect of the proximal anastomosis site on mid-term radial artery patency in off-pump coronary artery bypass. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2018;54(3):475-482. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy059>
 24. Uchida K, Imoto K, Karube N. *Annals of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2015;21(5):500-502. <https://doi.org/10.5761/atcs.nm.14-00301>
 25. Eda T, Matsuura A, Miyahara K, Takemura H, Sawaki S, Yoshioka T. Transplantation of the Free Gastroepiploic Artery Graft for Myocardial Revascularization: Long-Term Clinical and Angiographic Results. *The Annals of Thoracic Surgery*. Elsevier BV. 2008;85(3):880-884. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.10.050>
 26. Tam DY, Deb S, Nguyen B, Ko DT, Karkhanis RI. The radial artery is protective in women and men following coronary artery bypass grafting — a study of the radial artery patency study. *Annals of Cardiothoracic Surgery*. AME Publishing Company. 2018;7(4):492-499. <https://doi.org/10.21037/acs.2018.05.19>
 27. Tranbaugh RF, Schwann TA, Swistel DG, Dimitrova KR, Al-Shaar L, Hoffman DM, Habib RH. Coronary Artery Bypass Graft Surgery Using the Radial Artery, Right Internal Thoracic Artery, or Saphenous Vein as the Second Conduit. *The Annals of Thoracic Surgery* [Internet]. Elsevier BV. 2017;104(2):553-559. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.11.017>
 28. Fukui T, Tabata M, Manabe S, Shimokawa T, Morita S, Takanashi S. Angiographic outcomes of right internal thoracic artery grafts in situ or as free grafts in coronary artery bypass grafting. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. Elsevier BV. 2010;139(4):868-873. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2009.05.033>
 29. Huh JH, Lee KH, Cho KR, Hwang HY, Kim K-B. Spasm and Reopening of the Right Gastroepiploic Artery Conduit After Coronary Artery Bypass Grafting. *The Annals of Thoracic Surgery*. Elsevier BV. 2017;104(1):138-144. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.09.104>
 30. Guo-Wei He. *Arterial grafting for coronary artery bypass surgery*. Second edition. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2006.
 31. Mori H, Braumann R, Torii S, Jinnouchi H, Harari E, Kutys R. Pathology of stent implantation in internal mammary artery. *Cardiovascular Intervention and Therapeutics*. Springer Nature. 2017. <https://doi.org/10.1007/s12928-017-0504-7>
 32. Fortier JH, Ferrari G, Glineur D, Gaudino M, Shaw RE, Ruel M. Implications of coronary artery bypass grafting and percutaneous coronary intervention on disease progression and the resulting changes to the physiology and pathology of the native coronary arteries. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. Oxford University Press (OUP). 2018. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy171>
 33. Dawson EA, Rathore S, Cable NT, Wright DJ, Morris JL, Green DJ. Impact of Introducer Sheath Coating on Endothelial Function in Humans After Transradial Coronary Procedures. *Circulation: Cardiovascular Interventions*. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). 2010;3(2):148-156. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.109.912022>

Поступила 07.10.2018