

Дисфункция коронарных шунтов

Н. А. Кочергин, А. В. Фролов, В. И. Ганюков

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научный исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово

Абстракт

Коронарное шунтирование является наиболее распространенной кардиохирургической операцией в мире. Чтобы восстановить кровоток к ишемизированному миокарду, выполняется обходное шунтирование стенозированной коронарной артерии нативным кондуитом. Внутренняя грудная артерия остается «золотым стандартом» из-за ее потенциала долгосрочной проходимости. Однако, для выполнения полной реваскуляризации миокарда требуется использования дополнительных кондуитов, чаще всего которыми являются подкожная вена и/или лучевая артерия.

Долгосрочная проходимость шунтов и как следствие улучшение качества и продолжительности жизни пациента является основной задачей операции коронарного шунтирования. Дисфункция графта представляет собой сложный многофакторный процесс, который происходит у значительной части всех шунтов. Основные факторы как ранней, так и поздней дисфункции продолжают изучаться по сей день. В данном обзоре представлены данные о биохимических, технических, системных и локальных факторах, ассоциированных с дисфункцией шунта, а также способы раннего выявления предикторов несостоятельности графтов.

Ключевые слова: коронарное шунтирование, дисфункция шунтов, потенциал проходимости шунтов.

Coronary graft failure

NA Kochergin, AV Frolov, VI Ganyukov

Scientific Research Institute of Complex Problems of Cardiovascular Diseases «, Kemerovo, Russia

Abstract

Coronary artery bypass grafting is the most common major surgical procedure in the world. To restore blood flow to the affected myocardium, a vessel from another part of the body is procured to create a bypass around a critically stenosed coronary artery. The internal thoracic artery remains the conduit of "gold standard" due to its superior long-term patency. However, almost all patients require additional grafts to provide a complete revascularization. This necessitates the harvest of other vessels, most commonly the saphenous vein and/or radial artery.

Long-term graft patency and consequently improving the quality and life expectancy of patient is the primary aim of coronary artery bypass surgery. Graft failure is a complex, multifactorial event that occurs in a substantial proportion of conduits. The main factors of both early and late graft failure continue to be studied to this day. This review presents data on biochemical, technical, systemic and local factors associated with graft failure, as well as methods for early detection of predictors of graft failure.

Keywords: CABG, graft failure, graft patency.

Введение

Коронарное шунтирование (КШ) является наиболее распространенной кардиохирургической операцией в мире. Чтобы восстановить кровоток к ишемизированному миокарду, выполняется обходное шунтирование стенозированной коронарной

артерии нативным кондуитом. Внутренняя грудная артерия (ВГА) остается «золотым стандартом» из-за ее потенциала долгосрочной проходимости [1]. Однако, для выполнения полной реваскуляризации миокарда требуется использования дополнительных кондуитов, которыми чаще всего являются подкожная вена и/или лучевая артерия. Срок функционирования этих графтов менее продолжительный,

что приводит к их относительно ранней окклюзии, по сравнению с ВГА [2].

Долгосрочная проходимость шунтов и как следствие улучшение качества и продолжительности жизни пациента является основной задачей операции коронарного шунтирования. Дисфункция графта представляет собой сложный многофакторный процесс, который происходит у значительной части всех шунтов. Несостоятельность шунта может значительно снизить кровоток к реваскуляризованному миокарду, что приводит к неблагоприятным исходам.

Дисфункция значительно чаще встречается в венозных чем артериальных графтах, поэтому большинство известных патологических механизмов описаны в аутовенозных шунтах (АВШ) [3]. Ранняя дисфункция чаще связана с техническими причинами, приводящими к повреждению эндотелия

с последующим тромбозом. Поздняя дисфункция чаще возникает в результате атерогенеза и разрыва бляшек с последующим тромбозом [4].

На несостоятельность коронарного шунта влияют множество технических, биохимических, системных и локальных факторов. Далее будут представлены современные данные о роли этих факторов в генезе ранней и отдаленной дисфункции графтов.

Потенциал проходимости различных кондуитов

Потенциал проходимости шунта напрямую зависит от типа кондуита, используемого для шунтирования. В таблице 1 представлена отдаленная проходимость различных кондуитов.

Таблица 1. Потенциал проходимости различных кондуитов

Конduit	1 год (%)	5–7 лет (%)	Более 10 лет (%)
Подкожная вена	81–97,9	75–86	50–60
Внутренняя грудная артерия	93–96	88–98	85–95
Лучевая артерия	89–92	90–98	89–91
Желудочно-сальниковая артерия	98–97	80–90	62

Большая подкожная вена

Потенциал проходимости АВШ в течение 1 года составляет от 81% до 98% [5]. В исследовании PREVENT IV (Project of Ex Vivo Vein Graft Engineering via Transfection IV) сообщается о проходимости АВШ всего лишь в 75% случаев через 12–18 месяцев [6]. Средне-отдаленная проходимость (5–7 лет) АВШ составляет от 75% до 86% [7, 8]. Отдаленная проходимость АВШ значительно снижается при наблюдении в течение 10 лет и составляет от 55% до 60% [9].

В крупном исследовании VA trial (Veterans Affairs) были проанализированы потенциалы проходимости АВШ и левой ВГА у 1074 и 457 пациентов соответственно. 10-летняя проходимость составила 61% для вен и 85% для артериальных графтов ($p < 0,001$) [9]. Метаанализ, сравнивающий все кондуиты, используемые для КШ, показал, что по сравнению с лучевой артерией (ЛА) и правой ВГА у АВШ в 3–4 раза выше риск окклюзии после 4 лет наблюдения [7]. Степень дисфункции АВШ составляет от 1% до 2% в год в первые 6 лет и 4% в год между 6 и 10 годами [9].

В небольшом рандомизированном контролируемом исследовании использование атраumaticного забора аутовены (с окружающей тканью, исключая чрезмерное растяжение) показало отличные отдаленные результаты функционирования

(83% в 16 лет). Эти результаты превосходили потенциал проходимости традиционно забранных АВШ и были сопоставимы с левой ВГА [10]. Аналогичным образом, в другом небольшом рандомизированном контролируемом исследовании АВШ с наложением проксимального анастомоза к левой ВГА вместо восходящей аорты показали годовую проходимость, идентичную правой ВГА в той же позиции [11].

Предварительные данные использования внешних стентов для поддержки АВШ свидетельствуют о том, что значительно улучшается гемодинамический поток внутри венозных кондуитов за счет снижения турбулентности, что, в свою очередь, уменьшает гиперплазию интимы при годовом наблюдении [12]. Влияние внешних стентов на отдаленный потенциал проходимости венозных графтов предстоит еще уточнить.

Внутренняя грудная артерия

С середины 1980-х годов использование левой ВГА для шунтирования передней нисходящей артерии (ПНА) было краеугольным камнем операции КШ. Потенциал проходимости левой ВГА через 1 год составляет от 93% до 96%, через 5 лет 88–94% и ≥ 10 лет 85–90% [9]. Tatoulis с коллегами сообщили о потенциале проходимости левой и правой ВГА через 5, 10 и 15 лет, которые составили 98%



и 96%, 95% и 81% и 88% и 65% соответственно [13]. В их исследовании левая ВГА была преимущественно анастомозирована с ПНА, тогда как правой ВГА обычно шунтировали правую коронарную артерию (ПКА). Более низкий потенциал правой ВГА, скорее всего, связан с целевой ПКА (потенциалы проходимости: левая ВГА-ПНА – 97%, правая ВГА-ПНА – 95%, ПВГА-ПКА 83%) [13]. Одной из причин может быть конкурентный кровоток между шунтом и нативной ПКА. При правом типе коронарного кровотока ПКА имеет больший диаметр по сравнению с ПНА или огибающей артерией, поэтому при отсутствии критического стеноза может сохраняться достаточный кровоток в крупной ПКА [13, 14].

Лучевая артерия

Потенциал проходимости ЛА в течение первого года составляет от 89% до 92%, в течение 5 лет – 90–98% [5, 8]. В метаанализе сообщается о 90% проходимости ЛА через 4 года [7]. Achouh и Asar [15] сообщили о 83% проходимости ЛА через 20 лет, подтвержденной ангиографически, причем темп дисфункции составил 0,4% в год после первого года. Gaudino с коллегами [16] сообщили о 25% вероятности дисфункции ЛА через 20 лет по сравнению с 19% для левой ВГА и 55% для АВШ ($p=0,002$ для ЛА по сравнению с АВШ, $p=0,11$ для ЛА против ЛВГА и $p<0,001$ для ЛВГА против АВШ). Исследование RAPCO [17] представило свои последние результаты на съезде Американской ассоциации торакальной хирургии в 2016 году. Сообщалось, что 10-летняя проходимость ЛА составляет от 89% до 91%. Важным предиктором ранней и поздней дисфункции для ЛА является степень стенозирования целевого сосуда [17]. Также было выявлено, что ЛА, ранее используемые для доступа при чрескожных коронарных процедурах, имели эндотелиальную дисфункцию и субоптимальные показатели отдаленной проходимости. Поэтому их использование при КШ не рекомендуется [17].

Правая желудочно-сальниковая артерия

Имеются ограниченные данные относительно потенциала проходимости желудочно-сальниковой артерии (ЖСА). Сообщалось, что 1-летняя проходимость составляет 92–97% [18], 80–90% через 5 лет и 62% через 10 лет [19]. Эти показатели улучшаются при скелетизированном заборе ЖСА и более выраженной степени стенозирования целевых коронарных артерий (95% и 90% через 5 и 8 лет соответственно) [18].

Дисфункция шунтов

Различные механизмы вносят свой вклад в патофизиологию несостоятельности графта и происходят они в разный временной интервал; однако все они приводят к окклюзии шунта. Патофизиология дисфункции шунта заключается в остром тромбозе в течение первого месяца, гиперплазии интимы

в период до 1 года и атеросклерозе после 1 года [20].

Интраоперационно возможно повреждение эндотелия кондуита хирургическими манипуляциями с активацией эндотелиальных клеток, что может привести к высвобождению протромботических и провоспалительных агентов, которые вызывают острую тромботическую окклюзию, тогда как локальное выделение цитокинов, способствует миграции клеток и образованию неоинтимы. Нарушение эндотелиальной функции также характеризуется снижением биодоступности оксида азота, что в свою очередь приводит к спазму особенно артериальных графтов [1, 2].

Ранняя несостоятельность шунта может быть связана не только с техническими погрешностями, но и с самими кондуитами (например, несоответствие размерам кондуита и целевого сосуда). Кроме того, гиперкоагуляция может привести к острому тромбозу шунта. В первые месяцы после операции возможна гиперплазия неоинтимы особенно в области анастомозов. В последствии наблюдается общая неоинтимальная гиперплазия на всем протяжении графта. Воздействие высокого системного давления на стенку АВШ также способствует ранней диффузной пролиферации интимы в качестве компенсаторного ответа, так называемой «артериализации» [21]. Таким образом через годы происходит дегенерация стенки АВШ с формированием атеросклеротического поражения [20].

Поздняя дисфункция чаще возникает в результате атерогенеза в сосудистом графте. Такие системные факторы, как сахарный диабет, курение, гиперхолестеринемия и локальные биохимические процессы (окислительный стресс, сосудистое воспаление, эндотелиальная дисфункция) совместно вносят вклад в формирование первичной бляшки и прогрессирование атеросклероза до стадии разрыва бляшки, приводящей к тромбозу шунта [4]. В отличие от нативных коронарных сосудов в кондуитах атеросклероз протекает ускоренно. Кроме того, атеросклероз в шунтах характеризуется концентрическим и диффузным характером. При этом фиброзная капсула более тонкая, чем в коронарных атеромах, и поэтому в большей степени склонна к разрыву. Это все обуславливает различия в атерогенезе между нативными сосудами и шунтами [22].

Интраоперационные факторы

Метод забора кондуита может повлиять на проходимость шунта. Последние данные свидетельствуют о том, что эндоскопический забор связан с меньшей проходимостью АВШ. Исследование PREVENT IV показало, что эндоскопический забор ассоциировался с более высоким риском стеноза или окклюзии АВШ в период от 12 до 18 месяцев, по сравнению с открытым методом забора (ОШ 1,41; ДИ 1,16–1,71; $p=0,0001$) [6].

Также в исследовании ROOBY (Randomized ON/OFF Bypass) 1-летняя проходимость эндоскопически забранного АВШ была значительно хуже, чем при открытой методике (74,5% против 85,2 %, $p < 0,001$) [23]. Метаанализ 5 исследований, изучающих 6504 графта, показал значительно более высокий риск стеноза или окклюзии шунта в группе эндоскопического забора (26,9% против 20,3%, $p < 0,0001$, ОШ 1,38; ДИ: 1,01–1,88) [24]. Другой метаанализ, включивший ангиографические данные 7929 пациентов, также продемонстрировал более высокий риск стеноза и окклюзии шунтов для эндоскопически забранных подкожных вен [25]. Хотя в обоих метаанализах эти различия утратили статистическую значимость при оценке только рандомизированных исследований. Эти данные объясняются более высокой степенью повреждения сосудистой стенки при эндоскопическом заборе, хотя и не все исследователи согласны с этим. Важно отметить, что не выявлено разницы в клинических исходах у пациентов, с разными методами забора большой подкожной вены [26]. Однако, учитывая отсутствие корреляции между клиническими исходами и проходимостью шунта, ангиографические данные кажутся более объективными. Продолжающееся исследование REGROUP (Randomized Endo-Vein Graft Prospective) должно решить эти вопросы.

Техника лоскутного забора АВШ, которая снижает вероятность повреждения эндотелия, ассоциировалась с превосходной долгосрочной проходимостью по сравнению со скелетизированной методикой [10]. При этом скелетизированные ВГА и ЛА не уступали по проходимости при лоскутной методике выделения [27, 28].

Влияние искусственного кровообращения

По-прежнему ведутся споры в отношении влияния искусственного кровообращения (ИК) на показатели проходимости шунтов. В исследовании ROOBY были рандомизированы 2203 пациента на КШ в режиме on – или off-pump. При ангиографическом контроле через год проходимость шунтов в группе без ИК была значимо ниже, чем в группе с ИК (82,6% против 87,8%, $p < 0,01$) [29]. Тем не менее субанализ исследования PREVENT IV не обнаружили разницы в потенциале проходимости шунтов между двумя методами КШ [30]. Все метаанализы по этому вопросу показали значительно более высокий уровень окклюзии шунтов при КШ без ИК. Самый последний метаанализ рандомизированных контролируемых исследований объединил ангиографические данные 7011 шунтов и сообщил об ОШ 1,51 для окклюзии графтов в группе без ИК (ДИ 1,21–1,88; $p = 0,002$) [31]. Два крупных рандомизированных контролируемых исследования не показали различий в клинических исходах при КШ с ИК и без ИК. В исследованиях GOPCABE (German Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting in Elderly Patients) и CORONARY (CABG Off – or On-Pump Revascularization Study)

рандомизировано >7200 пациентов в одну из двух стратегий реваскуляризации, при этом не обнаружено различий в комбинированной конечной точке смерти, инсульта, инфаркта миокарда, повторной реваскуляризации и почечной недостаточности в течение 1 и 5 лет наблюдения между группами сравнения [32, 33].

Подготовка кондуита перед шунтированием

Важную роль в проходимости шунтов играют растворы, в которых хранятся кондуиты до шунтирования. Для хранения используются физиологический раствор с добавлением крови, гепаринизированный и буферизованный растворы. Многочисленные исследования показали отрицательное влияние солевых растворов на эндотелиальную функцию и клинические исходы. Исследование PREVENT IV продемонстрировало, что 1-летняя несостоятельность АВШ была значительно ниже при использовании буферного солевого раствора против физиологического или кровяного растворов (ОШ 0,63; ДИ 0,49–0,79; $p < 0,001$ и ОШ 0,63, ДИ 0,48–0,81, $p < 0,001$, соответственно) [34].

Ранее было показано, что давление, используемое для растяжения кондуитов, коррелирует со степенью воспаления и экспрессией молекул эндотелиальной адгезии [35], однако пока не была исследована связь между давлением растяжения и потенциалом проходимости кондуитов.

Интраоперационная оценка графта

Пикфлоуметрия (ПФМ) является наиболее часто используемым методом для интраоперационной оценки функции шунта при коронарной хирургии. Современные рекомендации Целевой группы по реваскуляризации миокарда Европейского общества кардиологов (ЕОК) и Европейской ассоциации кардио-торакальной хирургии говорят о том, что ПФМ следует рассматривать для интраоперационного контроля шунтов при КШ (IIa, C) [36].

Наиболее важными показателями ПФМ являются средний поток (мл/мин) и индекс пульсации (ИП). ИП представляет собой отношение разности между максимальным и минимальным потоками к величине среднего потока. Любой фактор, повышающий сопротивление в шунте, увеличивает значение ИП. По данным ЕОК дисфункция шунта характеризуется пороговыми значениями 20 мл/мин для среднего потока и 5 для ИП [36]. ПФМ характеризуется достаточно высокой специфичностью, но низкой чувствительностью. Такие факторы, как системное артериальное давление и положение датчика, напрямую влияют на чувствительность ПФМ [37].

Имеются ограниченные данные по корреляции между ПФМ и проходимостью шунтов, поскольку большинство опубликованных исследований используют разные дефиниции и пороговые значения. Небольшое рандомизированное исследование показало, что использование ПФМ не улучшает



Таблица 2. Взаимосвязь концентрации измеренных липидных и иммунологических показателей с накоплением общего холестерина клетками

Показатель, концентрация в сыворотке	Концентрация ОХС в лизате, мг/дл		Удельная концентрация ОХС в лизате, отн. ед.	
	r	p	r	p
ОХС, мг/дл	-0,173	0,320	-0,15	0,388
не-ЛВП-ХС, мг/дл	-0,110	0,528	-0,087	0,618
ЛОНП, мг/дл	-0,125	0,476	-0,223	0,197
ЛПП-С, мг/дл	-0,098	0,576	0,025	0,885
ЛПП-В, мг/дл	0,095	0,589	0,16	0,358
ЛПП-А, мг/дл	-0,062	0,725	0,039	0,825
ЛНП-1, мг/дл	-0,121	0,490	-0,155	0,375
ЛНП-2, мг/дл	0,286	0,096	0,23	0,183
мпЛНП, мг/дл	0,344	0,043	0,442	0,008
ЛВП, мг/дл	-0,207	0,233	-0,115	0,512
апоВ100, мг/дл	0,092	0,599	0,037	0,831
окЛНП, ед/л	0,072	0,710	-0,014	0,943
гЦИК, лаб. ед.	0,228	0,187	0,078	0,655
кЦИК, лаб. ед.	0,056	0,750	0,066	0,708
мЦИК, лаб. ед.	0,021	0,905	-0,014	0,935
Титр IgG аутоАт против Cu ²⁺ окЛНП, опт. ед.	0,042	0,815	0,099	0,578
Титр IgM аутоАт против Cu ²⁺ окЛНП, опт. ед.	-0,197	0,256	-0,159	0,360
Активация комплемента, %	0,054	0,817	0,115	0,621

Примечание: ОХС – общий холестерин; не-ЛВП-ХС – холестерин, не входящий в липопротеиды высокой плотности; ЛОНП – липопротеиды очень низкой плотности; ЛПП (А, В, С) – липопротеиды промежуточной плотности подклассов А, В, С; ЛНП – липопротеиды низкой плотности; мпЛНП – мелкие плотные липопротеиды низкой плотности; ЛВП – липопротеиды высокой плотности; апоВ100 – апобелок В-100; окЛНП – окисленные липопротеиды низкой плотности; гЦИК – гигантские циркулирующие иммунные комплексы; кЦИК – крупные и средние циркулирующие иммунные комплексы; мЦИК – мелкие циркулирующие иммунные комплексы; IgG аутоАт против окЛНП – аутоантитела класса IgG к окисленным липопротеидам низкой плотности; IgM аутоАт против окЛНП – аутоантитела класса IgM к окисленным липопротеидам низкой плотности.

проходимость шунтов в течение 1 года, однако имеется корреляция между низким потоком по ПФМ и окклюзией графта через 1 год [38]. Анализ 2 рандомизированных контролируемых исследований BBS (Best Bypass Surgery) и CARRPO (Copenhagen Arterial Revascularization Randomized Patency and Outcome), исследовавших 982 шунта, показал снижение вероятности дисфункции на 4% на каждые 1 мл/мин увеличения среднего потока (ОШ 0,96; ДИ 0,93–0,99; $p=0,005$) [39].

Потеря чувствительности может быть частично преодолена за счет болюсной инфузии 20 мкг/кг добутина [40]. Этот метод особенно эффективен в условиях конкурентного кровотока. Сочетание с интраоперационной визуализацией анастомоза является еще одним способом повышения чувствительности ПФМ. Было продемонстрировано, что выполнение ПФМ совместно с ультразвуковой визуализацией высокого разрешения увеличивает точность диагностики до 100% [41].

«Золотым стандартом» оценки функции шунта остается ангиография. По данным Бокерии Л. А. с соавторами интраоперационная шунтография позволяет выявить дисфункцию графтов в 13,5% случаев [42]. В большинстве случаев удается сразу устранить техническую причину дисфункции шунта. По мнению авторов, интраоперационная ангиография должна входить в обязательный протокол операции КШ [42]. Однако сложности логистики ограничивают рутинное использование этого метода. Решением этой проблемы являются гибридные операционные. Хотя следует отметить, что были описаны случаи ангиографических артефактов из-за отека анастомоза сразу после операции, что также является ограничением этого метода [43].

Оценка эндотелиальной целостности кондуитов снижала бы вероятность дисфункции шунтов. Иммуногистохимическое исследование остается наиболее достоверным методом анализа эндотелиального слоя, но не может быть выполнено

в операционной в реальном времени. Кроме того, этот метод не информативен при гетерогенном изменении эндотелия на протяжении кондуита [44]. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование и мультиспиральная компьютерная томография могут обеспечить скрининг всего кондуита в реальном времени, но не имеют достаточного разрешения для выявления большинства повреждений интимы [45, 46]. Оптическая когерентная томография представляет собой новый метод внутрисосудистой визуализации, обеспечивающий разрешение в диапазоне от 2 до 15 мкм, в 10 раз превышающее у внутрисосудистого ультразвука [47]. Высокое разрешение ОКТ позволяет более точно оценить целостность эндотелия [48]. Однако на сегодняшний день имеются ограниченные данные использования внутрисосудистых методов визуализации при оценке коронарных шунтов [49].

Локальные факторы

Различные характеристики целевого сосуда также могут влиять на потенциал проходимости коронарных шунтов. Нативная артерия без критического поражения создает с графтом конкурентный кровоток. Артериальные кондуиты обладают вазоактивностью и могут компенсаторно реагировать на изменение потока крови. Из-за уменьшения потока возникает эндотелиальный стресс, обусловленный снижением биодоступности оксида азота. Все это приводит к спазму и активации проатерогенных генов в сосудистой стенке с высоким риском дисфункции графта [50].

ЛА и ЖСА наиболее подвержены влиянию конкурентного кровотока из-за их более высоких вазоспастических свойств. Многочисленные исследования показали, что проходимость ЛА и ЖСА выше у пациентов с выраженным проксимальным стенозом в целевой артерии (>90%) [16, 18, 51]. ВГА также чувствительна к конкурентному кровотоку, хотя и в меньшей степени, чем ЛА. Большинство [52], но не все [53] опубликованные исследования показали, что проходимость ВГА напрямую коррелирует со степенью проксимального стеноза в целевой коронарной артерии. Длительно существующий конкурентный кровоток влияет не только на проходимость маммарного шунта, но и на его диаметр [54].

АВШ имеет низкое сосудистое сопротивление, поэтому давление на дистальном анастомозе равно системному с минимальным риском развития конкурентного кровотока. АВШ не обладает вазоактивностью и не способен регулировать поток. По этой причине конкурентный кровоток является проблемой для артериальных, но не венозных шунтов. Этот факт признан Американским колледжем кардиологии / Американской ассоциацией сердца для КШ, согласно которым артериальная реваскуляризация показана пациентам с критическими

поражениями целевых коронарных артерий [55]. Часто имеет место переоценка значимости стенозов на основе стандартной коронарографии, поэтому более частое применение функциональных тестов перед операцией может значительно увеличить показатели проходимости шунтов, особенно артериальных [56].

Другим важным фактором, определяющим отдаленную проходимость шунта, является диаметр целевого сосуда. Goldman с коллегами [9] изучили 10-летнюю проходимость АВШ и обнаружили, что если диаметр целевого сосуда был >2,0 мм, то проходимость АВШ составляла 88% против 55% при диаметре целевого сосуда ≤2,0 мм ($p < 0,001$). В небольшом рандомизированном контролируемом исследовании Souza с соавторами выявили, что диаметр целевого сосуда ≥2,0 мм значительно увеличивает проходимость шунта (ОШ 4,7; ДИ, 1,4–15,4; $p = 0,011$) [57].

Также доказано, что диффузное поражение коронарных артерий ассоциируется с более низкой проходимостью шунтов [58]. Диффузный коронарный атеросклероз не только отрицательно влияет на потенциал проходимости графта, но также ограничивает зону для наложения анастомоза. Выраженный кальциноз коронарной артерии также снижает потенциал проходимости шунта. В дополнение к неблагоприятному влиянию на вазомоторные свойства сосуда и ограничение зоны анастомоза, кальцинированные бляшки не поддаются наложению швов без выполнения эндартерэктомии, которая значительно изменяет архитектуру коронарной артерии [58].

Также отрицательное влияние оказывает стентирование коронарных артерий. Вызванная стентами хроническая воспалительная реакция с последующей эндотелиальной дисфункцией и гиперплазией интимы являются возможными механизмами дисфункции шунта [59].

Системные факторы

Большинство факторов кардиоваскулярного риска оказывают пагубное воздействие на сосудистую стенку и способствуют атерогенезу. Кроме того, реактивность тромбоцитов и возраст пациента могут влиять на индивидуальный ответ к медикаментозной терапии, что повышает риск ранней и поздней дисфункции графта [60].

Сахарный диабет ассоциирован с устойчивой активацией тромбоцитов, эндотелиальной дисфункцией, ускоренной гиперплазией интимы в АВШ [61]. Влияние сахарного диабета на артериальные и венозные графты было исследовано несколькими авторами, которые в большинстве [5, 62], но не все [63], показали его отрицательное значение на проходимость шунта. Также было выявлено, что сахарный диабет играет различную роль в зависимости от типа применяемого кондуита [62]. Deb



с коллегами показали, что у пациентов с сахарным диабетом риск окклюзии шунта была значительно ниже для ЛА, чем для АВШ ($p=0,0004$) [64].

В исследовании RAPS традиционные факторы сердечно-сосудистого риска, такие как возраст, инфаркт миокарда в анамнезе, гипертония, гиперлипидемия, курение и мультифокальный атеросклероз, не показали своего влияния на 1-летнюю дисфункцию шунтов. Однако в отдаленном 5-летнем периоде наблюдения женский пол (ОШ 2.23, ДИ 1.14–4.38, $p=0.02$), курение (ОШ 1.49, ДИ 1.01–2.21, $p=0.047$) и повышение уровня креатинина (ОШ 1.17, ДИ 1.02–1.35, $p=0.03$) оказались независимыми предикторами окклюзии шунтов [62].

Заключение

Дисфункция шунта представляет собой сложный многофакторный процесс, который происходит у значительной части всех графтов.

Несостоятельность шунта требует повторного вмешательства, так как ассоциируется с рецидивом стенокардии и неблагоприятным исходом. Технические факторы, особенности целевого сосуда, и тип используемого кондуита играют определяющую роль в развитии несостоятельности шунта. Корреляция между факторами кардиоваскулярного риска и потенциалом проходимости графтов требует дальнейшего изучения. Также необходимы дальнейшие исследования относительно возможности интраоперационной оценки функции шунта с помощью ПФМ и других методов визуализации, в том числе внутрисосудистой, что может повысить потенциал проходимости графтов.

Конфликт интересов

Конфликт интересов не заявляется.

Список литературы

1. Mancio JV, Gu J, Romar L, Brown JM, Gammie J, Pierson RN III, Griffith BP, Poston RS. Disruption of graft endothelium correlates with early failure after off-pump coronary artery bypass surgery. *Ann Thorac Surg* 2005;79:1991–1998. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2004.12.054>.
2. Poston RS, Gu J, Brown JM, Gammie JS, White C, Nie L, Pierson RN III, Griffith BP. Endothelial injury and acquired aspirin resistance as promoters of regional thrombin formation and early vein graft failure after coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006;131:122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2005.08.058>.
3. Harskamp RE, Lopes RD, Baisden CE, de Winter RJ, Alexander JH. Saphenous vein graft failure after coronary artery bypass surgery: pathophysiology, management, and future directions. *Ann Surg*. 2013;257:824–33. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318288c38d>.
4. Gaudino M, Antoniadou C, Benedetto U, Deb S, Di Franco A, Di Giammarco G, Fremez S, Glineur D, Grau J, He GW, Marinelli D, Obmes LB, Patrono C, Puskas J, Tranbaugh R, Girardi LN, Taggart DP. ATLANTIC (Arterial Grafting International Consortium) Alliance. Mechanisms, Consequences, and Prevention of Coronary Graft Failure. *Circulation*. 2017 Oct 31;136(18):1749–64. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.027597>.
5. Deb S, Cohen EA, Singh SK, Une D, Laupacis A, Fremez SE; RAPS Investigators. Radial artery and saphenous vein patency more than 5 years after coronary artery bypass surgery: results from RAPS (Radial Artery Patency Study). *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:28–35. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.03.037>.
6. Hess CN, Lopes RD, Gibson CM, Hager R, Wojdyla DM, Englum BR, Mack MJ, Califf RM, Kouchoukos NT, Peterson ED, Alexander JH. Saphenous vein graft failure after coronary artery bypass surgery: insights from PREVENT IV. *Circulation*. 2014;130:1445–51. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.008193>.
7. Cao C, Manganas C, Horton M, Bannon P, Munkholm-Larsen S, Ang SC, Yan TD. Angiographic outcomes of radial artery versus saphenous vein in coronary artery bypass graft surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;146:255–61. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.07.014>.
8. Collins P, Webb CM, Chong CF, Moat NE; Radial Artery Versus Saphenous Vein Patency (RSVP) Trial Investigators. Radial artery versus saphenous vein patency randomized trial: five-year angiographic follow-up. *Circulation*. 2008;117:2859–64. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.736215>.
9. Goldman S, Zadina K, Moritz T, Ovitt T, Setti G, Copeland JG, Thottapurathu L, Krasnicka B, Ellis N, Anderson RJ, Henderson W; VA Cooperative Study Group #207/297/364. Long-term patency of saphenous vein and left internal mammary artery grafts after coronary artery bypass surgery: results from a Department of Veterans Affairs Cooperative Study. *J Am Coll Cardiol*. 2004;44:2149–2156. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.08.064>.

10. Samano N, Geijer H, Liden M, Fremes S, Bodin L, Souza D. The no-touch saphenous vein for coronary artery bypass grafting maintains a patency, after 16 years, comparable to the left internal thoracic artery: a randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;150:880–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.07.027>.
11. Kim KB, Hwang HY, Hahn S, Kim JS, Oh SJ. A randomized comparison of the Saphenous Vein Versus Right Internal Thoracic Artery as a Y-Composite Graft (SAVE RITA) trial: one-year angiographic results and mid-term clinical outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014;148:901–7. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.03.057>
12. Meirson T, Orion E, Di Mario C, Webb C, Patel N, Channon KM, Ben Gal Y, Taggart DP. Flow patterns in externally stented saphenous vein grafts and development of intimal hyperplasia. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;150:871–878. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.04.061>.
13. Tatoulis J, Buxton BF, Fuller JA. Patencies of 2127 arterial to coronary conduits over 15 years. *Ann Thorac Surg.* 2004;77:93–101.
14. Tatoulis J, Buxton BF, Fuller JA. The right internal thoracic artery: the forgotten conduit—5,766 patients and 991 angiograms. *Ann Thorac Surg.* 2011;92:9–15. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.03.099>.
15. Achoub P, Acar C. Twenty-year fate of the radial artery graft. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2:481–484. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2013.07.13>.
16. Gaudino M, Tondi P, Benedetto U, Milazzo V, Flore R, Glioca F, Ponziani FR, Luciani N, Girardi LN, Crea F, Massetti M. Radial artery as a coronary artery bypass conduit: 20-year results. *J Am Coll Cardiol.* 2016;68:603–10. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.05.062>.
17. Buxton BF, Hayward PA, Matalanis G, Monten S, Horrigan M, Rosalio A. 10-year endpoint of RAPCO is reached: clinical and angiographic results of a randomized trial of radial artery versus right internal thoracic artery or saphenous vein for the second graft. Presented at the 96th annual meeting of the American Association for Thoracic Surgery, May 14–18, 2016, Baltimore, MD.
18. Suzuki T, Asai T, Nota H, Kuroyanagi S, Kinoshita T, Takashima N, Hayakawa M. Early and long-term patency of in situ skeletonized gastroepiploic artery after off-pump coronary artery bypass graft surgery. *Ann Thorac Surg.* 2013;96:90–5. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.04.018>.
19. Malvindi PG, Jacob S, Kallikourdis A, Vitale N. What is the patency of the gastroepiploic artery when used for coronary artery bypass grafting? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2007;6:397–402. <https://doi.org/10.1510/icvts.2007.155259>.
20. Harskamp RE, Lopes RD, Baisden CE, de Winter RJ, Alexander JH. Saphenous vein graft failure after coronary artery bypass surgery: pathophysiology, management, and future directions. *Ann Surg.* 2013;257:824–33. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318288c38d>.
21. Atkinson JB, Forman MB, Vaughn WK, Robinowitz M, McAllister HA, Virmani R. Morphologic changes in long-term saphenous vein bypass grafts. *Chest.* 1985;88:341–8.
22. Yabagi K, Kolodgie FD, Otsuka F, Finn AV, Davis HR, Joner M, Virmani R. Pathophysiology of native coronary, vein graft, and in-stent atherosclerosis. *Nat Rev Cardiol.* 2016;13:79–98. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2015.164>.
23. Zenati MA, Shroyer AL, Collins JF, Hattler B, Ota T, Almassi GH, Amidi M, Novitzky D, Grover FL, Sonel AF. Impact of endoscopic versus open saphenous vein harvest technique on late coronary artery bypass grafting patient outcomes in the ROOBY (Randomized On/Off Bypass) trial. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011;141:338–44. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.10.004>.
24. Deppe AC, Liakopoulos OJ, Choi YH, Slottosch I, Kubn EW, Scherner M, Stange S, Wablers T. Endoscopic vein harvesting for coronary artery bypass grafting: a systematic review with meta-analysis of 27,789 patients. *J Surg Res.* 2013;180:114–24. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.11.013>.
25. Sastry P, Rivinius R, Harvey R, Parker RA, Rahm AK, Thomas D, Nair S, Large SR. The influence of endoscopic vein harvesting on outcomes after coronary bypass grafting: a meta-analysis of 267,525 patients. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2013;44:980–9. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezt121>.
26. Williams JB, Peterson ED, Brennan JM, Sedrakyan A, Tavaris D, Alexander JH, Lopes RD, Dokholyan RS, Zhao Y, O'Brien SM, Michler RE, Thourani VH, Edwards FH, Duggirala H, Gross T, Marinac-Dabic D, Smith PK. Association between endoscopic vs open vein-graft harvesting and mortality, wound complications, and cardiovascular events in patients undergoing CABG surgery. *JAMA.* 2012;308:475–84. <https://doi.org/10.1001/jama.2012.8363>.
27. S6 MP, Ferraz PE, Escobar RR, Nunes EO, Lustosa P, Vasconcelos FP, Lima RC. Patency of skeletonized versus pedicled internal thoracic artery in coronary bypass graft surgery: a systematic review, meta-analysis and metaregression. *Int J Surg.* 2014;12:666–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.05.071>.
28. Gaudino M, Crea F, Cammertoni F, Mazza A, Toesca A, Massetti M. Technical issues in the use of the radial artery as a coronary artery bypass conduit. *Ann Thorac Surg.* 2014;98:2247–54. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.07.039>.
29. Shroyer AL, Grover FL, Hattler B, Collins JF, McDonald GO, Kozora E, Lucke JC, Baltz JH, Novitzky D; Veterans Affairs Randomized On/Off Bypass (ROOBY) Study Group. On-pump versus off-pump coronary-artery bypass surgery. *N Engl J Med.* 2009;361:1827–37. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0902905>.



30. Magee MJ, Alexander JH, Hafley G, Ferguson TB, Gibson CM, Harrington RA, Peterson ED, Califf RM, Koumboukos NT, Herbert MA, Mack MJ; PREVENT IV Investigators. Coronary artery bypass graft failure after on-pump and off-pump coronary artery bypass: findings from PREVENT IV. *Ann Thorac Surg.* 2008;85:494–9. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.10.008>.
31. Deppe AC, Arbash W, Kubn EW, Slottosch I, Scherner M, Liakopoulos OJ, Choi YH, Wablers T. Current evidence of coronary artery bypass grafting off-pump versus on-pump: a systematic review with meta-analysis of over 16,900 patients investigated in randomized controlled trials. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2016;49:1031–41. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv268>.
32. Lamy A, Devereaux PJ, Prabhakaran D, Taggart DP, Hu S, Straka Z, Piegas LS, Avezum A, Akar AR, Lanus Zanetti F, Jain AR, Noiseux N, Padmanabhan C, Bahamondes JC, Novick RJ, Tao L, Olavegogeoascoechea PA, Airan B, Sulling TA, Whitlock RP, Ou Y, Gao P, Pettit S, Yusuf S; CORONARY Investigators. Five-year outcomes after off-pump or on-pump coronary-artery bypass grafting. *N Engl J Med.* 2016;375:2359–68. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1601564>.
33. Diegeler A, Börgermann J, Kappert U, Breuer M, Böning A, Ursulescu A, Rastan A, Holzbey D, Treede H, Rieß FC, Veeckmann P, Asfoor A, Reents W, Zacher M, Hilker M; GPCABE Study Group. Off-pump versus onpump coronary-artery bypass grafting in elderly patients. *N Engl J Med.* 2013;368:1189–98. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1211666>.
34. Harskamp RE, Alexander JH, Schulte PJ, Brophy CM, Mack MJ, Peterson ED, Williams JB, Gibson CM, Califf RM, Koumboukos NT, Harrington RA, Ferguson TB, Lopes RD. Vein graft preservation solutions, patency, and outcomes after coronary artery bypass graft surgery: follow-up from the PREVENT IV randomized clinical trial. *JAMA Surg.* 2014;149:798–805. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2014.8>.
35. Khaleel MS, Dorheim TA, Duryee MJ, Durbin HE Jr, Bussey WD, Garvin RP, Klassen LW, Thiele GM, Anderson DR. High-pressure distention of the saphenous vein during preparation results in increased markers of inflammation: a potential mechanism for graft failure. *Ann Thorac Surg.* 2012;93:552–8. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.10.035>.
36. Windecker S, Kolb P, Alfonso F, Collet J-P, Cremer J, Falk V, Filippatos G, Hamm C, Head SJ, Juni P, Kappetein AP, Kastrati A, Knuuti J, Landmesser U, Laufer G, Neumann F-J, Richter DJ, Schauerte P, Sousa Uva M, Stefanini GG, Taggart DP, Torracca L, Valgimigli M, Wijns W, Witkowski A. 2014 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization: the Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J.* 2014;35:2541–619. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu278>.
37. Niclauss L. Techniques and standards in intraoperative graft verification by transit time flow measurement after coronary artery bypass graft surgery: a critical review. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017;51:26–33. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw203>.
38. Singh SK, Desai ND, Chikazawa G, Tsuneyoshi H, Vincent J, Zagorski BM, Pen V, Moussa F, Cohen GN, Christakis GT, Fremes SE. The Graft Imaging to Improve Patency (GRIIP) clinical trial results. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;139:294–301. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2009.09.048>.
39. Lebnert P, Müller CH, Damgaard S, Gerds TA, Steinbrüchel DA. Transittime flow measurement as a predictor of coronary bypass graft failure at one year angiographic follow-up. *J Card Surg.* 2015;30:47–52. <https://doi.org/10.1111/jocs.12471>.
40. Gaudino M, Di Mauro M, Iacm AL, Canosa C, Vitolla G, Calafiore AM. Immediate flow reserve of Y thoracic artery grafts: an intraoperative flowmetric study. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;126:1076–9. <https://doi.org/10.1016/S0022>.
41. Di Giammarco G, Canosa C, Foschi M, Rabozzi R, Marinelli D, Masuyama S, Ibrahim BM, Ranalletta RA, Penco M, Di Mauro M. Intraoperative graft verification in coronary surgery: increased diagnostic accuracy adding high-resolution epicardial ultrasonography to transit-time flow measurement. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2014;45:e41–e45. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezt580>.
42. Bockeria LA, Pursanov MG, Sobolev AV, Vartanov PV, Karaev AV. Analysis of the results of intraoperative angiography in 600 patients after coronary artery bypass surgery. *Grudnaya i serdechno-sosudistaya khirurgiya* 2016;58(3):143–51. Russia (Бокерия Л.А., Пурсанов М.Г., Соболев А.В., Вартапов П.В., Караев А.В. Анализ результатов интраоперационной шунтографии у 600 больных ишемической болезнью сердца после операции коронарного шунтирования. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* 2016;58(3):143–51).
43. Possati G, Gaudino M, Alessandrini F, Zimarino M, Glieda F, Luciani N. Systematic clinical and angiographic follow-up of patients undergoing minimally invasive coronary artery bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1998;115:785–90. [https://doi.org/10.1016/S0022-5223\(98\)70356-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(98)70356-3).
44. Brown EN, Burris NS, Gu J, Kon ZN, Laird P, Kallam S, Tang CM, Schmitt JM, Poston RS. Thinking inside the graft: applications of optical coherence tomography in coronary artery bypass grafting. *J Biomed Opt.* 2007 Sep-Oct;12(5):051704. <https://doi.org/10.1117/1.2799521>.

45. Oshima A, Takeshita S, Kozuma K, Yokoyama N, Motoyoshi K, Ishikawa S, Honda M, Oga K, Ochiai M, Isshiki T. Intravascular ultrasound analysis of the radial artery for coronary artery by-pass grafting. *Ann Thorac Surg* 2005;79:99–103. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2004.06.084>.
46. Feuchtnner GM, Smekal A, Friedrich GJ, Schachner T, Bonatti J, Dichtl W, Deutschmann M, Zur Nedden D. High-resolution 16-MDCT evaluation of radial artery for potential use as coronary artery bypass graft: a feasibility study. *Am J Roentgenol* 2005;185:1289–93. <https://doi.org/10.2214/AJR.04.0945>.
47. Low AF, Tearney GJ, Bouma BE, Jang IK. Technology insight: optical coherence tomography – current status and future development. *Nat Clin Pract Cardiovasc Med* 2006;3:154–62. <https://doi.org/10.1038/ncpcardio0482>.
48. Meissner OA, Rieber J, Babaryka G, Oswald M, Reim S, Siebert U, Redel T, Reiser M, Mueller-Lisse U. Intravascular optical coherence tomography: comparison with histopathology in atherosclerotic peripheral artery specimens. *J Vasc Interv Radiol* 2006;17:343–49. <https://doi.org/10.1097/01.RVI.0000195324.52104.00>.
49. Tom Hsun-Wei Huang, Kalpa De Silva, Usaid K. Allabwala, Edward J. Danson, Pasi K. Karjalainen, Olli A. Kajander, Ravinay Bhindi. In vivo morphologic comparison of Saphenous vein grafts and native coronary arteries following non-ST elevation myocardial infarction. *Cardiovasc Revasc Med*. 2018 Apr 16. pii: S1553–8389(18)30140–4. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2018.04.010>.
50. Davies PF. Hemodynamic shear stress and the endothelium in cardiovascular pathophysiology. *Nat Clin Pract Cardiovasc Med*. 2009;6:16–26. <https://doi.org/10.1038/ncpcardio1397>.
51. Suma H, Tanabe H, Takahashi A, Horii T, Isomura T, Hirose H, Amano A. Twenty years experience with the gastroepiploic artery graft for CABG. *Circulation*. 2007;116(11 Suppl):I188–91. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.678813>.
52. Berger A, MacCarthy PA, Siebert U, Carlier S, Wijns W, Heyndrickx G, Bartunek J, Vanermen H, De Bruyne B. Long-term patency of internal mammary artery bypass grafts: relationship with preoperative severity of the native coronary artery stenosis. *Circulation*. 2004;110(11 Suppl 1):I136–I140. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000141256.05740.69>.
53. Honda K, Okamura Y, Nishimura Y, Uchida S, Yuzaki M, Kaneko M, Yamamoto N, Kubo T, Akasaka T. Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;149:1622–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.02.050>.
54. Gaudino M, Alessandrini F, Nasso G, Bruno P, Manzoli A, Possati G. Severity of coronary artery stenosis at preoperative angiography and midterm mammary graft status. *Ann Thorac Surg*. 2002;74:119–21.
55. Hillis LD, Smith PK, Anderson JL, Bittl JA, Bridges CR, Byrne JG, Cigarroa JE, Disesa VJ, Hiratzka LF, Hutter AM Jr, Jessen ME, Keeley EC, Labey SJ, Lange RA, London MJ, Mack MJ, Patel MR, Puskas JD, Sabik JF, Selnes O, Shabian DM, Trost JC, Winniford MD. 2011 ACCF/AHA guideline for coronary artery bypass graft surgery: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*. 2011;124:e652–e735. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31823c074e>.
56. Wise ES, Hocking KM, Eagle S, Absi T, Komalavilas P, Cheung-Flynn J, Brophy CM. Preservation solution impacts physiologic function and cellular viability of human saphenous vein graft. *Surgery*. 2015;158:537–46. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2015.03.036>.
57. Souza DS, Dashwood MR, Tsui JC, Filbey D, Bodin L, Johansson B, Borowiec J. Improved patency in vein grafts harvested with surrounding tissue: results of a randomized study using three harvesting techniques. *Ann Thorac Surg*. 2002;73:1189–95.
58. Sbiono Y, Kubo T, Honda K, Katayama Y, Aoki H, Satogami K, Kasbiyama K, Taruya A, Nishiguchi T, Kuroi A, Orii M, Kameyama T, Yamano T, Yamaguchi T, Matsuo Y, Ino Y, Tanaka A, Hozumi T, Nishimura Y, Okamura Y, Akasaka T. Impact of functional focal versus diffuse coronary artery disease on bypass graft patency. *Int J Cardiol*. 2016;222:16–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.07.052>.
59. Songur M3, Hzyalzin S, Hzen A, im ek E, Kervan Ü, Ta o lu , Kaplan S, Köse K, Ulus AT. Does really previous stenting affect graft patency following CABG? A 5-year follow-up: the effect of PCI on graft survival. *Heart Vessels*. 2016;31:457–64. <https://doi.org/10.1007/s00380-015-0633-9>.
60. Gluckman TJ, McLean RC, Schulman SP, Kickler TS, Shapiro EP, Conte JV, McNicholas KW, Segal JB, Rade JJ. Effects of aspirin responsiveness and platelet reactivity on early vein graft thrombosis after coronary artery bypass graft surgery. *J Am Coll Cardiol*. 2011;57:1069–77. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.08.650>.
61. Choudhary BP, Antoniadou C, Brading AF, Galione A, Channon K, Taggart DP. Diabetes mellitus as a predictor for radial artery vasoreactivity in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:1047–53. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.06.008>.
62. Desai ND, Naylor CD, Kiss A, Cohen EA, Feder-Elitw R, Miwa S, Radhakrishnan S, Dubbin J, Schwartz L, Fremes SE; Radial Artery Patency Study Investigators. Impact of patient and target-vessel characteristics on arterial and venous bypass graft patency: insight from a randomized trial. *Circulation*. 2007;115:684–91. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.567495>.



63. Harskamp RE, Alexander JH, Ferguson TB, Hager R, Mack MJ, Englum B, Wojdyla D, Schulte PJ, Koumboukos NT, de Winter RJ, Gibson CM, Peterson ED, Harrington RA, Smith PK, Lopes RD. Frequency and predictors of internal mammary artery graft failure and subsequent clinical outcomes: insights from the Project of Ex-vivo Vein Graft Engineering via Transfection (PREVENT) IV trial. *Circulation*. 2016;133:131–8. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.015549>.
 64. Deb S, Singh SK, Moussa F, Tsubota H, Une D, Kiss A, Tomlinson G, Afsbar M, Sless R, Cohen EA, Radhakrishnan S, Dubbin J, Schwartz L, Fries SE; Radial Artery Patency Study Investigators. The long-term impact of diabetes on graft patency after coronary artery bypass grafting surgery: a substudy of the multicenter Radial Artery Patency Study. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;148:1246–53. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.06.057>
-