

ОПЕРАЦИИ ПО ТРАНСПЛАНТАЦИИ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

А.М. Морозов, А.Н. Сергеев, Э.М. Аскеров, В.А. Кадыков, Т.С. Алиева, Е.А. Фисюк

Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Россия

Резюме. *Актуальность.* Операции по трансплантации коронарных артерий являются эффективным методом лечения аномалий развития и патологий коронарных артерий, которые приводят к каскаду негативных последствий. Патологически изменённые венечные артерии не могут в полном объёме нормально функционировать, и данное состояние приводит к ишемии миокарда. Ишемическая болезнь сердца (ИБС) является хроническим воспалительным заболеванием, которое быстро приводит к функциональным нарушениям в организме. ИБС, главным образом, вызывается атеросклерозом артерий и является основной причиной смерти в большинстве развитых стран. *Цель:* проанализировать оперативные возможности трансплантации коронарных артерий. *Материалы и методы.* В ходе настоящего исследования был проведён обзор зарубежных литературных источников по проблеме хирургических вмешательств на коронарных артериях, помимо этого были проанализированы данные рандомизированных контролируемых исследований и контролируемых клинических испытаний, в которых сообщалось о различных подходах к лечению патологий сосудов сердца. *Результаты.* Наиболее часто при ишемической болезни сердца, обусловленной резким сужением или окклюзией просвета коронарной артерии, проводится аортокоронарное шунтирование. Аортокоронарное шунтирование (АКШ) – серьёзная хирургическая операция, заключающаяся в восстановлении кровообращения в обход стенозированного участка венечной артерии с помощью венозных или артериальных шунтов (трансплантатов). При этом кровоток к ишемизированному миокарду восстанавливается, что ведёт за собой восстановление функции и жизнеспособности сердечной мышцы. Аортокоронарное шунтирование – это часто выполняемое хирургическое вмешательство, ежегодно проводится почти 400 000 операций АКШ, что доказывает его эффективность в лечении ИБС. *Заключение.* Проведённое исследование доказывает важность операций по трансплантации коронарных артерий в лечении патологий и аномалий артерий сердца. Различают несколько видов оперативных вмешательств, в связи с чем необходимо подходить к каждому отдельному случаю индивидуально и находить оптимальное решение. Немаловажную роль в предотвращении послеоперационных осложнений и внезапной остановки сердца играет тщательная предоперационная диагностика, включающая коронарографию, эхокардиографию, компьютерную томографию и другие методы. При тщательной предоперационной диагностике, грамотно подобранной стратегии операции и послеоперационной профилактике возможно избежать повторную реваскуляризацию сердца и достичь полного выздоровления пациента с отсутствием осложнений на протяжении десятков лет.

Ключевые слова: трансплантация коронарных артерий, интрамуральный ход артерий, аортокоронарное шунтирование, лучевой трансплантат, шунты.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Морозов А.М., Сергеев А.Н., Аскеров Э.М., Кадыков В.А., Алиева Т.С., Фисюк Е.А. Операции по трансплантации коронарных артерий (обзор литературы). Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье. 2023;13(4):45–51. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.4.CLIN.3>

CORONARY ARTERY TRANSPLANTATION OPERATIONS (REVIEW)

A.M. Morozov, A.N. Sergeev, E.M. Askerov, V.A. Kadykov, T.S. Alieva, E.A. Fisyuk

Tver State Medical University, Tver, Russia

Abstract. *Relevance.* Coronary artery transplantation operations are an effective method for the treatment of developmental anomalies and pathologies of the coronary arteries, which lead to a cascade of negative consequences. Pathologically altered coronary arteries cannot fully function normally and this condition leads to myocardial ischemia. Ischemic heart disease (CHD) is a chronic inflammatory disease that quickly leads to functional disorders in the body. CHD is mainly caused by atherosclerosis of the arteries and is the leading cause of death in most developed countries. *The purpose of study.* To study the operational possibilities of coronary artery transplantation. *Materials and methods.* In the course of this study, a review of foreign literature on the problem of surgical interventions on the coronary arteries was carried out, in addition, data from randomized controlled trials and controlled clinical trials were analyzed, which reported on various approaches to the treatment of pathologies of the heart vessels. *Results.* Coronary artery bypass grafting is most often performed in coronary heart disease caused by a sharp narrowing or occlusion of the lumen of the coronary artery. Coronary artery bypass grafting (CABG) is a major surgical operation, which consists in restoring blood circulation bypassing the stenotic area of the coronary artery using venous or arterial bypasses (grafts). At the same time, blood flow to the ischemic myocardium is restored, which leads to the restoration of the function and viability of the heart muscle. Coronary artery bypass grafting, as mentioned above, is a frequently performed surgical intervention, with almost 400,000 CABG surgeries performed annually, which proves its effectiveness in the treatment of coronary artery disease. *Conclusion.* This study proves the importance of coronary artery transplantation in the treatment of pathologies and anomalies of the arteries of the heart. There are several types of surgical interventions, and therefore it is necessary to approach each individual case individually and find the optimal solution. An important role in preventing postoperative complications and sudden cardiac arrest is played by careful preoperative diagnostics, including coronary angiography, echocardiography, computed tomography, and other methods. With careful preoperative diagnosis, a well-chosen operation strategy and postoperative prevention, it is possible to avoid repeated cardiac revascularization and achieve complete recovery of the patient with no complications for decades.

Key words: coronary artery transplantation, intramural course of arteries, coronary artery bypass grafting, radial-artery graft, grafts.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Cite as: Morozov A.M., Sergeev A.N., Askerov E.M., Kadykov V.A., Alieva T.S., Fisyuk E.A. Coronary artery transplantation operations (review). *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health.* 2023;13(4):45–51. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.4.CLIN.3>

Актуальность

Операции по трансплантации коронарных артерий являются эффективным методом лечения аномалий развития и патологий коронарных артерий, которые приводят к каскаду негативных последствий. Патологически изменённые венечные артерии не могут в полном объёме нормально функционировать, и данное состояние приводит к ишемии миокарда. Ишемическая болезнь сердца (ИБС) является хроническим воспалительным заболеванием, которое быстро приводит к функциональным нарушениям в организме [1]. ИБС, главным образом, вызывается атеросклерозом артерий и является основной причиной смерти в большинстве развитых стран [2, 3].

Часто следствием прогрессирующей ишемии миокарда становится сердечная недостаточность, она развивается из-за структурного и функционального нарушения коронарного кровообращения. По данным статистики Pagliaro BR., Cannata F., и Stefanini GG., более чем в 50 % случаев сердечной недостаточности среди населения Европы и Северной Америки этиологическим фактором является именно ишемическая болезнь сердца [4, 5]. Сердечная недостаточность является серьёзной и актуальной проблемой в современной медицине. Часто она характеризуется неблагоприятным прогнозом. Несмотря на достижения медицины в области сердечно-сосудистых заболеваний, данная патология имеет чрезвычайно высокие показатели смертности по всему миру [6, 7]. Выделяют также острую сердечную недостаточность, которая является угрожающим жизням состоянием и требует незамедлительного лечения [8].

Аномалии коронарных артерий включают в себя аномалии происхождения и хода одной из трёх основных эпикардиальных артерий, которые могут быть представлены атрезией сосудов или интрамуральным ходом артерий [9, 10]. Данные клинические случаи достаточно редки, но также требуют хирургического вмешательства для восстановления нормального кровообращения.

Трансплантация коронарных артерий необходима и в случае транслокации магистральных артерий, когда при транспозиции аорты и лёгочного ствола требуется реимплантация устьев коронарных артерий.

Цель: проанализировать оперативные возможности трансплантации коронарных артерий.

Материалы и методы

В ходе настоящего исследования был проведён обзор зарубежных литературных источников по проблеме хирургических вмешательств на коронарных артериях, помимо этого, были проанализированы данные рандомизированных контролируемых исследований и контролируемых клинических испытаний, в которых сообщалось о различных подходах к лечению патологий сосудов сердца.

Результаты

Наиболее часто при ишемической болезни сердца, обусловленной резким сужением или окклюзией просвета коронарной артерии, проводится аортокоронарное шунтирование. Аортокоронарное шунтирование (АКШ) – серьёзная хирургическая операция, заключающаяся в восстановлении кровообращения в обход стенозированного

участка венечной артерии с помощью венозных или артериальных шунтов (трансплантатов). При этом кровоток к ишемизированному миокарду восстанавливается, что ведёт за собой восстановление функции и жизнеспособности сердечной мышцы. Аортокоронарное шунтирование, как было сказано выше, – это часто выполняемое хирургическое вмешательство. Ежегодно проводится почти 400 000 операций АКШ, что доказывает его эффективность в лечении ИБС [11].

Различают два вида АКШ: с аппаратом искусственного кровообращения (АИК) и без аппарата искусственного кровообращения. И здесь встаёт вопрос: как лучше проводить операцию аортокоронарного шунтирования? Далее представлены исследования по данному вопросу.

Рассмотрим исследование Fan G., Wang X., Chen C. и соавторы, которое заключалось в опросе хирургов по вопросу о стратегии АКШ. В данном опроснике было два раздела: первый раздел исследовал мнение каждого хирурга о показаниях к АКШ с АИК и АКШ без АИК, второй раздел исследовал выбор хирургами стратегии АКШ в отношении отдельных клинических случаев. В анкетировании участвовало 169 хирургов. В первом разделе 71,2 % хирургов указали совпадение показаний к АКШ с АИК и АКШ без АИК; 55,1 % опрошенных считают, что АКШ без АИК имеет более широкий спектр показаний; 35,3 % отметили превалирование показаний к АКШ с АИК. Во втором разделе более 70 % хирургов отдали предпочтение АКШ без АИК для пациентов со следующими характеристиками: высокий риск инсульта, почечная дисфункция, лёгочная дисфункция, злокачественные новообразования, нарушения свертываемости и коагуляции или возраст старше 80 лет. Более 57,5 % хирургов считают, что нужно проводить АКШ с АИК в следующих случаях: слабые сосуды, увеличение или дисфункция желудочков [12]. В ходе данного исследования был сделан вывод о том, что аппарат искусственного кровообращения целесообразно использовать при серьёзных поражениях сердечно-сосудистой системы, безнасосное АКШ проводится для пациентов с сопутствующими заболеваниями.

Группа исследователей в составе Demal T.J., Fehr S., Mariscalco G. и соавторов, доказала эффективность аортокоронарного шунтирования без аппарата искусственного кровообращения для пациентов с высоким риском кровотечения. Были использованы данные многоцентрового Европейского регистра аортокоронарного шунтирования о 7 352 пациентах, перенёсших изолированное АКШ. 3 548 из них имели повышенный риск кровотечения и были включены в анализ. Были исследованы ранние исходы после АКШ с АИК и АКШ без АИК. Операции без АИК были выполнены 721 пациенту (20,3 %). В послеоперационном периоде пациенты с АИК получали больше единиц эритроцитарной массы – 1,41 (без АИК – 0,86); более длительно пребывали в палате интенсивной терапии – 5 дней (без АИК – 4 дня); имели более высокую частоту послеоперационных предсердных фибрилляций – 46,5 % (без АИК – 31,3 %) и послеоперационного инсульта – 2,4 % (без АИК – 1,1 %). Вышеперечисленные данные свидетельствуют о том, что пациентам с высоким

риском кровотечения рекомендуется проводить АКШ без АИК [13, 14].

Группа авторов в составе Shaefi S., Mittel A. и соавторов, а также Smart N.A., Dieberg G., King N. проанализировали преимущество АКШ без АИК и пришли к следующим выводам. АКШ без АИК может теоретически улучшить отдалённые результаты операции за счёт снижения частоты периоперационного повреждения миокарда, инсульта, нейрокогнитивных нарушений и сердечно-сосудистой смертности. Исследования, проводившиеся на пике популярности АКШ без АИК в 1990-х годах, не продемонстрировали преимуществ АКШ без АИК в отношении этих исходов, несмотря на краткосрочное снижение потребности в послеоперационном переливании крови и устранении осложнений, традиционно связанных с АКШ с АИК. Кроме того, при АКШ без АИК происходит менее эффективная реваскуляризация миокарда [15, 16].

Quin J.A., Wagner T.H., Hattler B. и соавторы провели ретроспективное исследование 10-летних результатов аортокоронарного шунтирования. 1104 пациентам было проведено АКШ без АИК, а 1099 – АКШ с АИК. Смертность в течение 10 лет в группе АКШ без АИК составила 34,2 %, а в группе АКШ с АИК – 31,1 %. Авторы данного исследования не выявили преимуществ АКШ без АИК в отношении 10-летней смертности и при отсутствии противопоказаний к АИК рекомендуют АКШ с АИК [17–21].

Ещё одним немаловажным вопросом в операциях АКШ является выбор трансплантата. Garnizone M., Vartina E. и Pilmane M. было проведено гистологическое исследование трансплантатов большой подкожной вены и внутренней грудной артерии, взятых от 20 пациентов. Результаты показали, что трансплантаты большой подкожной вены характеризуются повышенной пластичностью при моделировании, возможной тенденцией к отторжению трансплантата на фоне усиления местного кровоснабжения. Состояние гомеостаза эндотелиоцитов, как венозных, так и артериальных трансплантатов, одинаковое [22].

Чаще всего выбор стоит между шунтом лучевой артерии и шунтом большой подкожной вены. Большинство исследований подтверждает преимущество трансплантата лучевой артерии над трансплантатом большой подкожной вены. В рандомизированном исследовании Gaudino M., Benedetto U., Fremes S. и соавторов были проанализированы 1036 пациентов (534 в группе лучевой артерии, 502 в группе подкожной вены), 942 из них завершили 10-летнее наблюдение. При медиане наблюдения 10 лет использование лучевой артерии было связано со стойким снижением частоты таких исходов, как смерть, инфаркт миокарда или повторная реваскуляризация (отношение рисков 0,73) и сочетание смерти и инфаркта миокарда (отношение рисков 0,77) [23–25].

Исследователи Adnan G., Yandrapalli S. и Caliskan E., de Souza D.R., Böning A. и соавторы сравнивали три трансплантата: левая внутренняя грудная артерия, большая подкожная вена и лучевая артерия. Они пришли к выводу, что левая внутренняя грудная артерия по-прежнему является предпочтительным вариантом. Большая подкожная вена, несмотря на свою высокую пластичность, имеет бо-

более короткий общий срок службы и повышенную склонность к дегенерации и окклюзии. В течение года окклюзия может возникать в 10–15 % случаев, а спустя 10 лет – уже у 50 % пациентов. Исследовали также правую внутреннюю грудную артерию, правую желудочно-сальниковую артерию, правую нижнюю надчревную артерию и лучевую артерию. Трансплантат лучевой артерии легко извлекать, и его можно обойти, чтобы добраться до основных коронарных артерий; в настоящее время это является предпочтительным вариантом после левой внутренней грудной артерии. Использование спазмолитиков поддерживает проходимость лучевого трансплантата до 90 % как через год, так и спустя 5 лет после АКШ [26, 27].

Jawitz OK., Cox ML. и соавторы провели когортное исследование из 1923 пациентов. 117 человек получили трансплантат лучевой артерии. У данных пациентов было более длительное хирургическое вмешательство (253 минуты против 228), и им было установлено большее количество трансплантатов. У трансплантатов лучевой артерии частота отторжения составляла 23 % (у трансплантата подкожной вены – 25,2 %, у левой внутренней грудной артерии – 8,3 %). Частота ранней неудачи лучевого трансплантата была аналогична трансплантату подкожной вены и выше левой внутренней грудной артерии. Никакой связи со смертью, инфарктом миокарда или повторной реваскуляризацией обнаружено не было. Данные результаты свидетельствуют о том, что при определённых клинических обстоятельствах использование трансплантата лучевой артерии допустимо [28].

Существуют некоторые факторы, влияющие на исход операции. К ним относятся возраст, сахарный диабет, изолированная систолическая гипертензия, почечная и сердечная недостаточность [29]. Помимо этого, Ram E., Sternik L., Moshkovitz Y. и с соавторами было проведено исследование влияния пола на исход АКШ, где было изучено 1308 пациентов, из них 1045 мужчин и 263 женщины. Общая 30-дневная смертность была выше у женщин. Среди пациентов с ST-инфарктом миокарда женщины имели более высокий уровень 10-летней смертности. Данный анализ показал, что женский пол является фактором риска неблагоприятного исхода АКШ [30].

Операции по трансплантации коронарных артерий выполняются и в случае хирургического лечения транспозиции магистральных артерий (операция артериального переключения). Для восстановления кровотока в коронарной сети необходимо провести иссечение устьев коронарной артерии и их имплантацию в новую аорту [31]. Варианты одиночной коронарной артерии повышают технические требования к выполнению транслокации коронарных артерий. Иногда для увеличения устьев коронарных артерий используют подключичную артерию в качестве интерпозиционного шунта. Из 59 пациентов у 6 были одиночные коронарные варианты, при которых правая подключичная артерия использовалась в качестве интерпозиционного шунта. У четырёх пациентов была левая передняя нисходящая коронарная артерия и правая коронарная артерия, отходящие от левого синуса, и огибающая коронарная артерия, отходящая от правого синуса. У одного пациента было одно устье, выходящее из левого синуса, а у другого

пациента было единственное устье, выходящее из правого синуса. Послеоперационный период у всех пациентов прошёл без осложнений. Варианты одиночных артерий усложняют операции артериального переключения. Увеличение коронарных устьев с использованием сегмента правой подключичной артерии в некоторых случаях является жизнеспособным вариантом [32].

Bhimani SA. и Komarlu R. рассмотрели клинический случай доношенной девочки с множественными патологиями сердца. Трансторакальная эхокардиограмма подтвердила анатомию обеих коронарных артерий, отходящих от одного синуса с отдельными устьями. Правая коронарная артерия отходила от правого заднего синуса, левая аномально отходила из того же синуса, примыкающего к устью правой коронарной артерии, проходя кзади от аорты, с коротким интрамуральным и межартериальным ходом перед бифуркацией в левую переднюю нисходящую и левую огибающую коронарные артерии. В ходе операции была вскрыта интрамуральная левая коронарная артерия, отмеченная при вскрытии корня аорты до устья коронарной артерии. Были извлечены оба коронарных устья, большое устье было разделено на два маленьких. Устье левой коронарной артерии было имплантировано методом «лазейки». Оставшаяся часть операции артериального переключения прошла без осложнений. Послеоперационный период прошёл благополучно [33].

Аномальное аортальное отхождение коронарной артерии (ААОКА) – патология, приводящая к ишемии миокарда и внезапной остановке сердца. Одной из патологий данного класса аномалий является интрамуральный ход коронарных артерий: коронарные артерии проходят в толще миокарда, их верхнюю стенку может покрывать слой миокарда, так называемый миокардиальный мостик. Данное состояние может вызывать ишемию как небольшого, так и значительного участка миокарда. В исследовании проводилось сравнение данных о лечении пациентов, перенёсших пересечение и реимплантацию, и пациентов, перенёсших удаление миокардиального мостика. 61 пациенту была проведена коррекция ААОКА (2012–2019 гг.): 16 (26 %) пациентам была проведена операция по пересечению и реимплантации коронарной артерии без устья аорты и 45 (74 %) пациентам было проведено удаление миокардиального мостика. По сравнению с последними, пациенты, перенёсшие пересечение и реимплантацию, имели одинаковую длину интрамуральной части коронарной артерии. Одному из этих пациентов впоследствии было проведено АКШ в связи со стойкой послеоперационной ишемией. У одного пациента, перенёсшего удаление миокардиального мостика, развилась повторная сердечная смерть, ему было проведено повторное пересечение и реимплантация без осложнений. В последующем 15 из 16 пациентов первой группы и 42 из 45 пациентов из второй группы были допущены к неограниченным физическим нагрузкам. Пересечение и реимплантация является хорошей альтернативой в условиях, когда удаление миокардиального мостика затруднительно [34].

Sun H., Dun Y., Yan J. и соавторы проанализировали результаты лечения пациентов с транспозицией магистральных артерий и интрамуральным ходом коронарных

артерий, перенёсших операцию артериального переключения. Из 450 пациентов, перенёсших операцию артериального переключения, у 26 (5,8 %) был выявлен интрамуральный ход коронарной артерии. Левая коронарная артерия была интрамуральной у 21 из 26 пациентов. Был проведён коронарный перенос с использованием двойных устьев коронарных артерий с интрамуральным ходом без миокардиального мостика для всех 26 пациентов. Ранняя смертность у пациентов с интрамуральной артерией составила 3 (11,5 %) случая из 26, по сравнению с 10 (2,4 %) из 424 без интрамурального хода. Поздних осложнений и смертности не наблюдалось. Коронарный перенос с использованием двойных коронарных устьев с интрамуральным ходом без миокардиального мостика явился хорошим методом лечения для пациентов с транспозицией магистральных сосудов и интрамуральным ходом коронарной артерии [35].

Рассмотрим клинический случай – 39-летний мужчина с внезапной остановкой сердца. Экстренная коронарография нарушений в коронарном кровотоке не выявила, однако КТ показала, что проксимальная часть правой коронарной артерии проходила внутри стенки аорты, создавая проксимальный стеноз без атеросклеротических изменений. Была проведена операция «деруфинга», однако проксимальный стеноз правой коронарной артерии потребовал дополнительного АКШ. Впоследствии было выдвинуто предположение, что послеоперационный стеноз был вызван воспалительной реакцией на хирургическое вмешательство [36, 37].

Интрамуральный ход общего артериального ствола является редкой патологией. После хирургического вмешательства у новорожденного развился низкий сердечный выброс, приведший к остановке сердца, что потребовало поддержки экстракорпоральной мембранной оксигенации. Диагностика показала окклюзию левой коронарной артерии, что потребовало экстренной операции. Успешное удаление щелевидного отверстия и миокардиального мостика привело к полному выздоровлению.

Пропущенный сегмент интрамурального хода артерии может привести к заболеваемости и смертности, поэтому важно проводить тщательную предоперационную диагностику [38, 39].

В ходе моделирования кровотока на 3D-принтере были напечатаны модели для трёх пациентов с правыми коронарными артериями с интрамуральным ходом, у двух из них была ишемия. Данные модели сравнивались с моделями нормальных коронарных артерий. Модели были помещены в аортальное положение импульсного дубликатора. В ишемической модели наблюдалось постепенное падение фракционного резерва кровотока от места расположения устья в дистальный интрамуральный ход (0,48), в то время как в неишемических и нормальных моделях на всех участках он не опускался ниже 0,9. Во второй модели ишемии до операции наблюдалось падение до 0,44 на интрамуральном и медиастинальном пересечении с улучшением до 0,86 после операции. Это подтверждает необходимость хирургической коррекции интрамурального хода артерий в восстановлении нормального давления и кровотока в артериальной сети сердца [40].

Заключение

Проведённое исследование доказывает важность операций по трансплантации коронарных артерий в лечении патологий и аномалий артерий сердца. Различаются несколько видов оперативных вмешательств, в связи с чем необходимо подходить к каждому отдельному случаю индивидуально и находить оптимальное решение. Немаловажную роль в предотвращении послеоперационных осложнений и внезапной остановки сердца играет тщательная предоперационная диагностика, включающая коронарографию, эхокардиографию, компьютерную томографию и другие методы. При тщательной предоперационной диагностике, грамотно подобранной стратегии операции и послеоперационной профилактике возможно избежать повторную реваскуляризацию сердца и достичь полного выздоровления пациента с отсутствием осложнений на протяжении десятков лет.

Литература [References]

- 1 Akyuz A. Exercise and Coronary Heart Disease. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1228:169-179. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_11. PMID: 32342457.
- 2 Shao C, Wang J, Tian J, Tang YD. Coronary Artery Disease: From Mechanism to Clinical Practice. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1177:1-36. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2517-9_1. PMID: 32246442.
- 3 Mandsager K, Harb S, Cremer P, Phelan D, Nissen SE, Jaber W. Association of Cardiorespiratory Fitness With Long-term Mortality Among Adults Undergoing Exercise Treadmill Testing. *JAMA Netw Open.* 2018 Oct 5;1(6):e183605. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.3605>. PMID: 30646252; PMCID: PMC6324439.
- 4 Pagliaro BR, Cannata F, Stefanini GG, Bolognese L. Myocardial ischemia and coronary disease in heart failure. *Heart Fail Rev.* 2020 Jan;25(1):53-65. <https://doi.org/10.1007/s10741-019-09831-z>. PMID: 31332663.
- 5 Gulati A, Ismail TF, Ali A, Hsu LY, Gonçalves C, Ismail NA, Krishnathasan K, Davendralingam N, Ferreira P, Halliday BP, Jones DA, Wage R, Newsome S, Gatehouse P, Firmin D, Jabbour A, Assomull RG, Mathur A, Pennell DJ, Arai AE, Prasad SK. Microvascular Dysfunction in Dilated Cardiomyopathy: A Quantitative Stress Perfusion Cardiovascular Magnetic Resonance Study. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2019 Aug;12(8 Pt 2):1699-1708. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.10.032>. Epub 2019 Jan 16. PMID: 30660522; PMCID: PMC616858.
- 6 Berezin AE, Berezin AA, Lichtenauer M. Myokines and Heart Failure: Challenging Role in Adverse Cardiac Remodeling, Myopathy, and Clinical Outcomes. *Dis Markers.* 2021 Jan 13;2021:6644631. <https://doi.org/10.1155/2021/6644631>. PMID: 33520013; PMCID: PMC7819753.
- 7 Benjamin EJ, Virani SS, Callaway CW, Chamberlain AM, Chang AR, Cheng S et al. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart Disease and Stroke Statistics-2018 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation.* 2018 Mar 20;137(12):e67-e492. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000558>. Epub 2018 Jan 31. Erratum in: *Circulation.* 2018 Mar 20;137(12):e493. PMID: 29386200.

- 8 Arrigo M, Ruschitzka F, Flammer AJ. Akute Herzinsuffizienz [Acute heart failure]. *Ther Umsch*. 2018 Sep;75(3):155-160. German. <https://doi.org/10.1024/0040-5930/a000980>. PMID: 30145979.
- 9 Gentile F, Castiglione V, De Caterina R. Coronary Artery Anomalies. *Circulation*. 2021 Sep 21;144(12):983-996. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.121.055347>. Epub 2021 Sep 20. PMID: 34543069.
- 10 Alsalehi M, Jeewa A, Wan A, Contreras J, Yoo SJ, Laks JA. A case series of left main coronary artery ostial atresia and a review of the literature. *Congenit Heart Dis*. 2019 Nov;14(6):901-923. <https://doi.org/10.1111/chd.12842>. Epub 2019 Sep 18. PMID: 31532081.
- 11 Bachar BJ, Manna B. Coronary Artery Bypass Graft. 2022 Aug 8. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan. PMID: 29939613.
- 12 Fan G, Wang X, Chen C, Liu J, Chen Y. Surgeons' Preference for Off-Pump or On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting Surgery. *Heart Surg Forum*. 2021 May 11;24(3):E422-E426. <https://doi.org/10.1532/hf.3747>. PMID: 34173755.
- 13 Demal TJ, Fehr S, Mariscalco G, Reiter B, Bibiza E, Reichenspurner H, et al. Coronary Artery Bypass Grafting in Patients With High Risk of Bleeding. *Heart Lung Circ*. 2022 Feb;31(2):263-271. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2021.06.519>. Epub 2021 Jul 28. PMID: 34330630.
- 14 Chikwe J, Lee T, Itagaki S, Adams DH, Egorova NN. Long-Term Outcomes After Off-Pump Versus On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting by Experienced Surgeons. *J Am Coll Cardiol*. 2018 Sep 25;72(13):1478-1486. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.07.029>. PMID: 30236310.
- 15 Shaefi S, Mittel A, Loberman D, Ramakrishna H. Off-Pump Versus On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting-A Systematic Review and Analysis of Clinical Outcomes. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019 Jan;33(1):232-244. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2018.04.012>. Epub 2018 Apr 4. PMID: 29753665.
- 16 Smart NA, Dieberg G, King N. Long-Term Outcomes of On- Versus Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting. *J Am Coll Cardiol*. 2018 Mar 6;71(9):983-991. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.049>. PMID: 29495998.
- 17 Quin JA, Wagner TH, Hattler B, Carr BM, Collins J, Almassi GH, Grover FL, Shroyer AL. Ten-Year Outcomes of Off-Pump vs On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting in the Department of Veterans Affairs: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Surg*. 2022 Apr 1;157(4):303-310. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2021.7578>. PMID: 35171210; PMCID: PMC8851363.
- 18 Dominici C, Salsano A, Nenna A, Spadaccio C, El-Dean Z, Bashir M, Mariscalco G, Santini F, Chello M. Neurological outcomes after on-pump vs off-pump CABG in patients with cerebrovascular disease. *J Card Surg*. 2019 Oct;34(10):941-947. <https://doi.org/10.1111/jocs.14158>. Epub 2019 Jul 3. PMID: 31269312.
- 19 Thakur U, Nerlekar N, Muthalaly RG, Comella A, Wong NC, Cameron JD, Harper RW, Smith JA, Brown AJ. Off- vs. On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting Long-Term Survival is Driven by Incompleteness of Revascularisation. *Heart Lung Circ*. 2020 Jan;29(1):149-155. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2018.11.019>. Epub 2018 Dec 13. PMID: 30686645.
- 20 Hohri Y, Yamagishi M, Maeda Y, Asada S, Hongu H, Numata S, Yaku H. Coronary artery bypass grafting for coronary artery anomalies in infants and young children. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2022 Jul 9;35(2):ivac119. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivac119>. PMID: 35512199; PMCID: PMC9387505.
- 21 Schmiady M, Kretschmar O, Prêtre R, Dave H. Congenital atresia of the left main coronary artery: management of a 5-year-old child in extremis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2021 Apr 8;32(3):497-498. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivaa268>. PMID: 33221860; PMCID: PMC8906743.
- 22 Garnizon M, Vartina E, Pilmane M. Morphologic comparison of blood vessels used for coronary artery bypass graft surgery. *Folia Morphol (Warsz)*. 2022;81(3):584-593. <https://doi.org/10.5603/FM.a2021.0084>. Epub 2021 Oct 5. PMID: 34608982.
- 23 Gaudino M, Benedetto U, Fremez S, Ballman K, Biondi-Zoccai G, Sedrakyan A et al. RADIAL Investigators. Association of Radial Artery Graft vs Saphenous Vein Graft With Long-term Cardiovascular Outcomes Among Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA*. 2020 Jul 14;324(2):179-187. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.8228>. PMID: 32662861; PMCID: PMC7361649.
- 24 Gaudino M, Rahouma M, Abouarab A, Leonard J, Kamel M, Di Franco A, Demetres M, Tam DY, Tranbaugh R, Girardi LN, Fremez SE. Radial artery versus saphenous vein as the second conduit for coronary artery bypass surgery: A meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2019 May;157(5):1819-1825.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2018.08.123>. Epub 2018 Nov 14. PMID: 30551962.
- 25 Nezc D. Radial artery versus saphenous vein graft for coronary artery bypass grafting-long-term outcomes. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2022 Jul 11;62(2):ezac371. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezac371>. PMID: 35766823.
- 26 Adnan G, Yandrapalli S. Radial Artery Coronary Bypass. 2022 Oct 3. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan. PMID: 33085397.
- 27 Caliskan E, de Souza DR, Böning A, Liakopoulos OJ, Choi YH, Pepper J, Gibson CM, Perrault LP, Wolf RK, Kim KB, Emmert MY. Saphenous vein grafts in contemporary coronary artery bypass graft surgery. *Nat Rev Cardiol*. 2020 Mar;17(3):155-169. <https://doi.org/10.1038/s41569-019-0249-3>. Epub 2019 Aug 27. PMID: 31455868.
- 28 Jawitz OK, Cox ML, Ranney D, Williams JB, Mulder H, Gaudino MFL, Fremez S, Habib RH, Gibson CM, Schwann TA, Lopes RD, Alexander JH. Outcomes following revascularization with radial artery bypass grafts: Insights from the PREVENT-IV trial. *Am Heart J*. 2020 Oct;228:91-97. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2020.08.001>. Epub 2020 Aug 8. PMID: 32871328; PMCID: PMC7508822.
- 29 Kusu-Orkar TE, Kermali M, Oguamanam N, Bithas C, Harky A. Coronary artery bypass grafting: Factors affecting outcomes. *J Card Surg*. 2020 Dec;35(12):3503-3511. <https://doi.org/10.1111/jocs.15013>. Epub 2020 Sep 16. PMID: 32939803.
- 30 Ram E, Sternik L, Moshkovitz Y, Iakobishvili Z, Zuroff E, Peled Y, Herscovici R, Raanani E. Coronary Artery Bypass Grafting Following Acute Coronary Syndrome: Impact of Gender. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2022 Autumn;34(3):920-929. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2021.07.015>. Epub 2021 Jul 18. PMID: 34289411.
- 31 Marinho-da-Silva A. Arterial switch operation for transposition of great arteries: Is coronary artery circulation evaluation necessary? *Rev Port Cardiol (Engl Ed)*. 2021 Oct;40(10):713-714. <https://doi.org/10.1016/j.repce.2021.10.003>. PMID: 34857107.
- 32 Issa HMN, Lalani S, Drake RE, Gandhi SK. Coronary artery augmentation with the right subclavian artery for single coronary artery variants of dextro transposition of the great arteries treated by an arterial switch operation. *JTCVS Tech*. 2022 Feb 28;13:139-143. <https://doi.org/10.1016/j.jtc.2022.02.030>. PMID: 35711182; PMCID: PMC9196594.
- 33 Bhimani SA, Komarlu R. Unusual coronary artery arrangement in D-transposition of the great arteries with ventricular septal defect. *Cardiol Young*. 2021 Jan;31(1):127-129. <https://doi.org/10.1017/S104795112000459X>. Epub 2020 Dec 17. PMID: 33327987.
- 34 Bonilla-Ramirez C, Molossi S, Sachdeva S, Reaves-O'Neal D, Masand P, Mery CM, Caldarone CA, McKenzie ED, Binsalamah ZM. Outcomes in anomalous aortic origin of a coronary artery after surgical reimplantation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021 Oct;162(4):1191-1199. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.12.100>. Epub 2021 Jan 5. PMID: 33541731.

- 35 Sun H, Dun Y, Yan J, Yang K, Hua Z, Wang Q, Li S. Clinical Outcome of Patients with Transposition of the Great Arteries and Intramural Coronary Artery. *Pediatr Cardiol*. 2021 Feb;42(2):417-424. <https://doi.org/10.1007/s00246-020-02499-5>. Epub 2021 Feb 16. PMID: 33591387.
- 36 Aoki R, Kozai T, Ono Y, Tanaka F, Ueda Y, Ikeda J, Matsuo A, Hori H, Hosokawa Y, Okazaki T, Kosuga T, Yoshitake K, Kosuga K, Aoyagi S, Tayama K. Right Coronary Artery with an Intramural and Interarterial Course as a Unique Cause of Myocardial Ischemia: The Unroofing Method Might Still Be the Best Solution. *Intern Med*. 2022 Jul 29. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.0127-22>. Epub ahead of print. PMID: 35908964.
- 37 Fricke TA, Konstantinov IE. Translocation of intramural coronary artery in the arterial switch operation: Divide and conquer? *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018 Apr;155(4):e131-e132. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.12.108>. Epub 2018 Jan 6. PMID: 29409617.
- 38 Hussein N, Spegiorin S, Bu'Lock F, Como AF. Intramural Left Coronary Artery in Truncus Arteriosus. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2018 Jan;9(1):117-120. <https://doi.org/10.1177/2150135116664880>. Epub 2016 Sep 12. PMID: 27619329.
- 39 Ikeno Y, Motoki T, Kurushima A, Fukumura Y. Repair of insufficient aortic valve and single coronary artery with intramural course. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2022 Sep 2;62(4):ezac292. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezac292>. PMID: 35543464.
- 40 Hatoum H, Krishnamurthy R, Parthasarathy J, Flemister DC, Krull CM, Walter BA, Mery CM, Molossi S, Dasi LP. Flow Dynamics in Anomalous Aortic Origin of a Coronary Artery in Children: Importance of the Intramural Segment. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2022 Spring;34(1):226-235. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2020.11.027>. Epub 2020 Nov 23. PMID: 33242612.

Авторская справка**Author's reference****Морозов Артём Михайлович**

Канд. мед. наук, доцент кафедры общей хирургии, Тверской государственного медицинского университета, ул. Советская, д. 4, Тверь, Россия, 170100.

ORCID 0000-0003-4213-5379

Вклад автора: разработка концепции исследования, постановка задач.

Artem M. Morozov

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of General Surgery, Tver State Medical University, 4 Soviet, Tver, 170100, Russia.

ORCID 0000-0003-4213-5379

Author's contribution: developing a research concept, setting objectives.

Сергеев Алексей Николаевич

Д-р мед. наук, заведующий кафедрой общей хирургии, Тверской государственного медицинского университета, ул. Советская, д. 4, Тверь, Россия, 170100.

ORCID 0000-0002-9657-8063

Вклад автора: обобщение данных литературы.

Alexey N. Sergeev

Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of General Surgery, Tver State Medical University, 4 Soviet, Tver, 170100, Russia.

ORCID 0000-0002-9657-8063

Author's contribution: literature synthesis.

Аскеров Эльшад Магомедович

Канд. мед. наук, доцент кафедры общей хирургии, Тверской государственного медицинского университета, ул. Советская, д. 4, Тверь, Россия, 170100.

ORCID 0000-0002-2567-6088

Вклад автора: подготовка текста работы.

Elshad M. Askerov

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of General Surgery, Tver State Medical University, 4 Soviet, Tver, 170100, Russia.

ORCID 0000-0002-2567-6088

Author's contribution: drafting.

Кадыков Виктор Алексеевич

Канд. мед. наук, доцент кафедры общей хирургии, Тверской государственного медицинского университета, ул. Советская, д. 4, Тверь, Россия, 170100.

ORCID 0000-0002-7516-3467

Вклад автора: формулирование выводов и обсуждения.

Viktor A. Kadykov

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of General Surgery, Tver State Medical University, 4 Soviet, Tver, 170100, Russia.

ORCID 0000-0002-7516-3467

Author's contribution: formulation of conclusions and discussion.

Алиева Туркан Салех кызы

Студентка 3 курса лечебного факультета, Тверской государственного медицинского университета, ул. Советская, д. 4, Тверь, Россия, 170100.

ORCID 0000-0002-3446-4634

Вклад автора: работа с источниками литературы.

Turkan Saleh kzy Aliyeva

3rd year student of the Faculty of Medicine, Tver State Medical University, 4 Soviet, Tver, 170100, Russia.

ORCID 0000-0002-3446-4634

Author's contribution: referencing.

Фисюк Екатерина Андреевна

Студентка 2 курса педиатрического факультета, Тверской государственного медицинского университета, ул. Советская, д. 4, Тверь, Россия, 170100.

ORCID 0009-0000-0582-7398

Вклад автора: работа с источниками литературы.

Ekaterina A. Fisyyuk

2nd year student of the Pediatric Faculty, Tver State Medical University, 4 Soviet, Tver, 170100, Russia.

ORCID 0009-0000-0582-7398

Author's contribution: referencing.