

Аортокоронарное шунтирование на работающем сердце в условиях вспомогательного искусственного кровообращения

Даниил Валерьевич Борисов*, Александр Сергеевич Зотов,
Александр Витальевич Троицкий, Роберт Иосифович Хабазов

Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи
и медицинских технологий ФМБА России, г. Москва, Россия

Реферат

Техника выполнения аортокоронарного шунтирования остается неизменной на протяжении уже многих лет, в то время как разработка и совершенствование методов защиты миокарда при коронарном шунтировании у пациентов с ишемической болезнью сердца является актуальной проблемой современной коронарной хирургии. Методики выполнения аортокоронарного шунтирования включают «традиционный» подход с использованием аппарата искусственного кровообращения, пережатием аорты и кардиоплегической остановкой сердца, коронарное шунтирование на работающем сердце без применения искусственного кровообращения, а также операции на работающем сердце в условиях вспомогательного искусственного кровообращения. Коронарное шунтирование с искусственным кровообращением на остановленном сердце является наиболее распространенной методикой реваскуляризации миокарда. Однако остановка сердца неизбежно ведет к периоду глобальной ишемии, а современные методы кардиopleгии не всегда позволяют избежать ишемического повреждения миокарда, особенно у пациентов высокого риска, подвергающихся оперативному лечению. Коронарное шунтирование на работающем сердце дает возможность предотвратить глобальную ишемию миокарда (за счет сохранения нативного коронарного кровотока) и избежать возможных негативных последствий искусственного кровообращения. Основные ограничения применения этой методики связаны с большим риском развития нарушений гемодинамики вследствие уменьшения сердечного выброса, ударного объема при работе с сердцем и экспозиции целевых артерий. Операция на работающем сердце в условиях вспомогательного искусственного кровообращения предлагает разумный компромисс между обычной процедурой шунтирования с искусственным кровообращением, кардиopleгией и off-pump процедурой. Это безопасная и эффективная методика, результаты которой сопоставимы и даже превосходят результаты «традиционного» коронарного шунтирования у пациентов с нестабильной гемодинамикой, низкой фракцией выброса левого желудочка и у пациентов высокого риска. В этом обзоре литературы описаны результаты выполнения аортокоронарного шунтирования в условиях вспомогательного искусственного кровообращения.

Ключевые слова: хирургическая реваскуляризация миокарда, аортокоронарное шунтирование в условиях вспомогательного искусственного кровообращения, острый инфаркт миокарда.

Для цитирования: Борисов Д.В., Зотов А.С., Троицкий А.В., Хабазов Р.И. Аортокоронарное шунтирование на работающем сердце в условиях вспомогательного искусственного кровообращения. *Казанский мед. ж.* 2018; 99 (6): 966–969. DOI: 10.17816/KMJ2018-966.

On-pump beating-heart coronary artery bypass grafting

D.V. Borisov, A.S. Zotov, A.V. Troitskiy, R.I. Khabazov

Federal Research Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of FMBA, Moscow, Russia

Abstract

Coronary artery bypass grafting techniques have been unchangeable for many years, whereas development and enhancement of myocardial protection methods in coronary bypass grafting for patients with ischemic heart disease

are still actual issues of current coronary surgery. Coronary artery bypass grafting techniques include the traditional/conventional technique with cardiopulmonary bypass, aortic cross-clamping and cardioplegia, off-pump and on-pump beating heart coronary artery bypass grafting.

Coronary artery bypass grafting with cardiopulmonary bypass and cardioplegia remains the most common method of coronary revascularization. However the cardiac arrest inevitably leads to global cardiac ischemia, and current cardioplegias do not prevent ischemic damage to the myocardium in all cases, especially in high-risk surgical patients.

Off-pump coronary artery bypass grafting allows preventing global myocardial ischemia (due to the constant native coronary blood-flow) and avoiding possible negative consequences of cardiopulmonary bypass use. The main limitations of this technique are associated with high risk of hemodynamic instability due to low cardiac output and systolic output caused by target arteries exposition. On-pump beating heart technique is a reasonable compromise between conventional on-pump coronary artery bypass grafting, cardioplegia and off-pump procedure. It is a safe and effective technique with outcomes that are equivalent or superior to the outcomes reported for conventional coronary artery bypass grafting in patients with unstable hemodynamics, low left ventricular ejection fraction and in high-risk patients. The literature review presents the results of on-pump beating heart coronary artery bypass grafting.

Keywords: surgical myocardial revascularization, on-pump beating heart coronary artery bypass grafting, acute myocardial infarction.

For citation: Borisov D.V., Zotov A.S., Troitskiy A.V., Khabazov R.I. On-pump beating-heart coronary artery bypass grafting. *Kazan medical journal*. 2018; 99 (6): 966–969. DOI: 10.17816/KMJ2018-966.

Аортокоронарное шунтирование (АКШ) — процедура хирургической реваскуляризации миокарда, не претерпевшая значительных изменений в течение более 50 лет. Тем не менее, применение различных хирургических доступов, тактика выбора кондуитов, способов защиты миокарда и техник выполнения операции широко обсуждаются в профильном сообществе, что позволяет добиваться все более успешных результатов [1].

Анализ отчетов национальных и государственных баз данных оказывает влияние на выбор методики выполнения операции как на уровне отдельно взятых хирургов, так и на уровне крупных специализированных кардиохирургических центров, что позволило добиться снижения уровня госпитальной смертности в современных условиях (менее 5% и даже ниже, когда речь заходит о плановых вмешательствах) [1].

Тем не менее «оптимальный подход» остается темой для обсуждений в экспертном сообществе. Кроме того, большинство хирургов применяет на практике несколько методик, используя их в соответствии с нуждами конкретных пациентов, в зависимости от коморбидных состояний, анатомических особенностей коронарного русла и технических возможностей конкретного лечебного учреждения.

В данном обзоре будут рассмотрены особенности аортокоронарного шунтирования в условиях вспомогательного искусственного кровообращения (АКШ-ВИК) как метода хирургической реваскуляризации миокарда.

Методика выполнения аортокоронарного шунтирования не претерпела значительных изменений с момента ее широкого внедрения в хирургическую практику в 60-х гг. XX в. Улучшение результатов операции связано с оптимизацией отбора пациентов, эволюцией методов защиты миокарда и изменением тактики постоперационного ведения больных. Несмотря на то, что традиционная методика выполнения АКШ (АКШ-ИК — использование аппарата ИК с пережатием аорты и кардиоплегической остановкой сердца) остается наиболее распространенным методом хирургической реваскуляризации миокарда, многие опытные хирурги предпочитают выполнение АКШ на работающем сердце по целому ряду причин [2, 3].

АКШ на работающем сердце обычно выполняется по одной из двух методик: без подключения аппарата ИК (АКШ off-pump) и в условиях вспомогательного искусственного кровообращения (АКШ-ВИК). Опыт выполнения АКШ off-pump обширен, однако результаты операций весьма вариабельны и, по данным ряда авторов, уступают результатам АКШ-ИК [4]. В целом операция по методике АКШ off-pump может быть чрезвычайно сложной в техническом плане, так как в ходе процедуры зачастую не удается достичь адекватной декомпрессии сердца, что делает манипуляции с ним затруднительными, а экспозицию эпикардальных артерий (особенно на задней и нижней стенках) — трудновыполнимой (особенно при диффузном поражении коронарного русла). Достижение целевых значений артериального

давления в ходе подобной операции может сделать использование стабилизаторов миокарда проблематичным, так как жесткая фиксация сердца приведет к эпи- и миокардиальным травмам (например, к разрывам и гематомам) [1]. Более того, без поддержки, обеспечиваемой ИК, в ходе манипуляций на задней и нижней стенках сердца могут развиваться нарушения гемодинамики, что заставляет отказаться от шунтирования целевого сосуда (как следствие, реваскуляризация миокарда оказывается неполноценной) или приводит к подключению аппарата ИК. В ряде случаев подключить аппарат и начать ИК требуется по экстренным показаниям. Кроме того, необходимость в искусственном кровообращении может быть продиктована развитием аритмии: предсердной или желудочковой. Таким образом, методика АКШ off-pump имеет свои достоинства и недостатки, которые диктуют хирургу относиться к ней взвешенно [3].

Техника АКШ-ВИК сочетает в себе положительные черты АКШ-ИК и АКШ off-pump: непрерывная работа сердца, отсутствие необходимости в наложении зажима на аорту и введении кардиopleгии, поддержание стабильной гемодинамики с помощью ИК, активное дренирование и декомпрессия сердца. Сравнение результатов АКШ-ИК, АКШ off-pump и АКШ-ВИК было объектом многих исследований, при этом были показаны преимущества АКШ-ВИК над другими методиками.

В 2015 г. Aydin и Erkut проанализировали результаты лечения 316 пациентов, прооперированных по жизненным показаниям по методике АКШ-ВИК на фоне острого коронарного синдрома; перед операцией около 50% пациентов требовалась гемодинамическая поддержка аппаратом ВАБК (внутриартериальная баллонная контрпульсация) [5]. Госпитальная смертность составила всего 2,9%, при этом число осложнений также было невелико.

Схожие результаты были получены Afrasiabid и соавт. в проспективном исследовании исходов хирургической реваскуляризации миокарда у пациентов высокого риска при сравнении АКШ-ИК и АКШ-ВИК [6]. Методика АКШ-ВИК превосходила АКШ-ИК по всем сравниваемым характеристикам (смертность, почечная недостаточность, продолжительность искусственной вентиляции легких, потребность в инотропах, пиковые уровни сердечных тропонинов).

В 2006 г. Izumi и соавт. сравнили результаты АКШ у пациентов с острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST, нуждавшихся в экстренной хирургической реваскуляризации.

Операции (АКШ-ИК и АКШ-ВИК) выполнялись одним хирургом [7]. Различия в ранней постоперационной смертности показали преимущества методики АКШ-ВИК перед АКШ-ИК (13,3% против 31,3%); средние пиковые уровни МВ-фракции креатинкиназы также были ниже в группе АКШ-ВИК (221 МЕ/л против 666 МЕ/л). Исходя из этого, авторы предположили, что методика АКШ-ВИК позволяет избежать интраоперационной глобальной ишемии миокарда, в отличие от операций на остановленном сердце, где многое зависит от кардиopleгической защиты миокарда.

Аналогичные данные были получены Fatouch и соавт. после анализа результатов лечения 128 пациентов с острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST [8]. Пациенты были случайным образом разделены на 2 группы: в первой группе пациентов АКШ выполнялось по методике АКШ off-pump, во второй — по традиционной методике с ИК и кардиopleгической остановкой сердца (АКШ-ИК). Результаты АКШ off-pump превосходили результаты АКШ-ИК по целому ряду параметров: госпитальная смертность (1,6% против 7,7%), низкий сердечный выброс после операции (21% против 34%), длительность инотропной поддержки после операции (2,1 сут против 6,8 сут), длительность искусственной вентиляции легких (8,5 час против 24 час), развитие постоперационного кровотечения, потребовавшего повторной операции (1,6% против 7,7%), продолжительность пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) (1,6 сут против 3,4 сут), продолжительность пребывания в стационаре (8,3 сут против 12,4 сут).

В 2010 г. Darwazah и соавт. опубликовали результаты ретроспективного исследования, включившего 137 пациентов с ФВ ЛЖ (фракция выброса левого желудочка) до операции менее 35%, при этом 39 пациентов были прооперированы по методике АКШ-ВИК, а остальным было выполнено АКШ off-pump [9]. Пациентам группы АКШ-ВИК (в среднем) удавалось произвести реваскуляризацию большего числа сосудов по сравнению с пациентами группы АКШ off-pump (2,2 против 1,7).

В 2013 г. Erkut и соавт. проанализировали результаты лечения 131 пациента со сниженной ФВ ЛЖ (26,6% +/- 3,5%), 66 из которых АКШ было выполнено по методике АКШ-ИК, а 65 — по методике АКШ-ВИК [10]. Результаты данного исследования показали превосходство методики АКШ-ВИК над АКШ-ИК по всем оцениваемым параметрам (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение исходов хирургического лечения у пациентов, перенесших аортокоронарное шунтирование на остановленном сердце и аортокоронарное шунтирование в условиях вспомогательного искусственного кровообращения [10]

Характеристика	АКШ-ИК	АКШ-ВИК	Значение p
Госпитальная смертность (в течение 30 дней)	14	2	0,001
Интраоперационная смертность	7	1	0,022
Ранняя смертность (менее 48 час)	4	1	0,002
Отдаленная смертность в течение постоперационного периода	3	0	0,007
Периоперационный острый инфаркт миокарда	11	1	0,012
Вновь возникшая потребность в имплантации внутриаортального баллонного контрпульсатора	22	4	0,023
Продолжительность инотропной поддержки: среднее \pm стандартное отклонение, дней	7,2 \pm 4,3	3,1 \pm 4,1	0,001
Синдром низкого сердечного выброса	16	4	0,025
Постоперационная почечная дисфункция (креатинин > 1,5 мг/дл)	11	2	0,001
Постоперационный гемодиализ	5	0	0,026
Осложнения со стороны легких	6	4	0,66
Неврологические осложнения	4	2	0,78
Гастроинтестинальные осложнения	2	0	0,92
Продолжительность пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии: среднее \pm стандартное отклонение, дней	7 \pm 5	3 \pm 2	0,032
Продолжительность пребывания в стационаре: среднее \pm стандартное отклонение, дней	15 \pm 7	7 \pm 4	0,019
Время до экстубации, час	41,2 \pm 15	33,2 \pm 14	0,79
Инфекционные осложнения	7	5	0,81
Хирургическая остановка кровотечения	11	9	0,69
Постоперационная кровопотеря более 1 000 мл	17	16	0,88
Увеличение фракции выброса левого желудочка более 35%	14	18	0,91
Снижение конечно-диастолического диаметра левого желудочка менее 60 мм	26	30	0,92

Примечание: АКШ-ИК — аортокоронарное шунтирование в условиях искусственного кровообращения с пережатием аорты и кардиopleгической остановкой сердца; АКШ-ВИК — аортокоронарное шунтирование в условиях вспомогательного искусственного кровообращения.

Чернявский и соавт. [11] также продемонстрировали превосходство методики АКШ-ВИК над АКШ-ИК по ряду параметров на 60 пациентах с ФВ ЛЖ менее 35%. Пациенты были случайным образом разделены на 2 группы по 30 человек в зависимости от методики выполнения операции. Было показано, что у пациентов группы АКШ-ВИК реже развивались пароксизмы фибрилляции предсердий, а восстановление ФВ ЛЖ и ремоделирование левого желудочка после операции происходило быстрее, чем у пациентов, прооперированных по методике АКШ-ИК. Однако в структуре осложнений, длительности послеоперационного периода и госпитальной летальности значимых различий установлено не было.

В 2017 г. Xia и соавт. сравнили эффективность реваскуляризации миокарда по методикам АКШ off-pump и АКШ-ВИК у 216 пациентов с тяжелой дисфункцией левого желудочка [12]. Операции выполнялись тремя кардиохирургами, имеющими большой опыт выполнения АКШ на работающем сердце. Решение об использовании той или иной методики не было рандомизированным и принималось хирургом в зависимости от демографических показателей пациентов и их клинического профиля. Несмотря на то, что дизайн исследования накладывает некоторые ограничения на его репрезентативность, предоперационные клинические характеристики пациентов обеих групп были статистически сопоставимы.

Таблица 2. Конверсия операции без подключения аппарата искусственного кровообращения в операцию с искусственным кровообращением: у первой группы пациентов (n=55) конверсия происходила по пути аортокоронарного шунтирования на остановленном сердце, у второй группы пациентов (n=49) конверсия происходила по пути аортокоронарного шунтирования в условиях вспомогательного искусственного кровообращения [13]

Характеристики	АКШ-ИК (n=55)	Группа АКШ-ВИК (n=49)	Значение p
Количество шунтов на 1 пациента	3,33 (0,82)	3,18 (0,63)	0,317
Продолжительность ИК (мин)	129,25 (39,24)	104,96 (35,64)	0,001
Причина конверсии			
Гемодинамическая нестабильность	47 (85,5%)	44 (89,8%)	0,504
Остановка сердца	5 (9,1%)	3 (6,1%)	0,571
Кровотечение	2 (3,6%)	1 (2,0%)	0,627
Окклюзия шунта	1 (1,8%)	1 (2,0%)	0,491
Максимальный уровень тропонина I (нг/мл)	11,97±18,13	4,9±9,76	0,017
Потребность в переливании компонентов крови (%)	19 (34,5%)	12 (24,6%)	0,263
Вновь возникшая потребность в имплантации внутриаортального баллонного контрпульсатора (%)	19 (34,5%)	8 (16,3%)	0,034
Постоперационный инфаркт миокарда (%)	10 (18,2%)	6 (12,2%)	0,402
Вновь развившийся пароксизм фибрилляции предсердий (%)	12 (21,8%)	11 (22,4%)	0,938
Осложнения со стороны легких (%)	17 (30,9%)	7 (14,3%)	0,045
Гемодиализ (%)	8 (14,5%)	3 (6,1%)	0,163
Инсульт (%)	2 (3,6%)	1 (2,0%)	0,627
Инфекционные осложнения (%)	9 (16,4%)	4 (8,2%)	0,207
Продолжительность инотропной поддержки (сут)	5,07 (2,81)	3,49 (1,99)	0,001
Повторная операция для остановки кровотечения (%)	4 (7,3%)	1 (2,0%)	0,213
Время до экстубации (час)	95,9 (67,4)	50,0 (45,5)	0,000
Продолжительность пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии (сут)	6,8 (2,8)	5,0 (2,2)	0,001
Продолжительность пребывания в стационаре после операции (сут)	15,6 (5,5)	11,8 (4,5)	0,000
Госпитальная смертность (%)	14 (25,6%)	3 (6,1%)	0,008

Примечание: АКШ-ИК — аортокоронарное шунтирование в условиях искусственного кровообращения с пережатием аорты и кардиоплегической остановкой сердца; АКШ-ВИК — аортокоронарное шунтирование в условиях вспомогательного искусственного кровообращения; ИК — искусственное кровообращение.

Авторы пришли к выводу, что реваскуляризация миокарда по методике АКШ-ВИК позволяет добиться снижения показателей смертности и частоты сопутствующих осложнений, позволяя при этом увеличить количество шунтируемых артерий.

Как отмечалось выше, выполнение АКШ off-pump в ряде случаев может быть проблематичным. Также следует иметь в виду вероятность конверсии методики оперативного вмешательства (подключение аппарата ИК). В статье, опубликованной Yu и соавт., приводятся сведения

о 104 пациентах, которым в ходе операции была произведена конверсия методики [13]: у 55 пациентов — по пути традиционного АКШ с кардиоплегической остановкой сердца (АКШ-ИК); у 49 пациентов — по пути АКШ-ВИК. Смертность (25,6% против 6,1%), пиковые уровни высвобождения сердечных тропонинов, продолжительность инотропной поддержки, время до экстубации, продолжительность пребывания в ОРИТ (отдел реанимации и интенсивной терапии), продолжительность пребывания в стационаре, вновь возникшая потребность

в имплантации ВАБК и частоты осложнений со стороны органов дыхания были значительно ниже у пациентов, которым конверсия была произведена по пути АКШ-ВИК. Потребность в переливании продуктов крови, частота развития острого инфаркта миокарда после операции, риск развития приступа фибрилляции предсердий, гемодиализа, инсульта, инфекционных осложнений и повторной операции для остановки кровотечения также были ниже у пациентов, перенесших конверсию АКШ off-pump в АКШ-ВИК (табл. 2).

В 2004 г. Alwan и соавт. провели проспективное рандомизированное исследование, в котором сравнили эффективность реваскуляризации миокарда у 70 пациентов (АКШ off-pump против АКШ-ИК) [14]. Согласно данным исследования у пациентов, перенесших АКШ off-pump, уровни тропонина I после операции были ниже, что подтверждает теорию о том, что кардиоплегическая остановка сердца приводит к более выраженному его повреждению.

При сравнении уровней маркеров повреждения миокарда у пациентов, перенесших АКШ, Izumi и соавт. показали, что у пациентов группы АКШ-ВИК максимальные уровни МВ-фракции креатинфосфокиназы были значительно ниже, чем у пациентов, которым АКШ выполнялось по методике АКШ-ИК (221 МЕ/л против 666 МЕ/л, $p=0,008$) [7].

С целью изучения риска развития неврологических осложнений у пациентов, перенесших АКШ в различных модификациях, Sabban и соавт. рассмотрели три методики: АКШ-ИК, АКШ off-pump и АКШ-ВИК [15]. Исследование показало низкую частоту развития нежелательных неврологических событий у пациентов групп АКШ off-pump и АКШ-ВИК. Так, у 7 из 73 пациентов группы АКШ-ИК развились неврологические осложнения, в группе АКШ-ВИК — у 1 пациента из 33, в группе АКШ off-pump неврологических осложнений не было.

В 2012 г. Tsai и соавт. сравнили результаты лечения 186 диализ-зависимых пациентов, перенесших АКШ по одной из трех методик: 82 пациента были прооперированы по традиционной методике (АКШ-ИК), 56 — по методике АКШ off-pump, 48 — по методике АКШ-ВИК [16]. Продолжительность пребывания в ОРИТ и продолжительность пребывания в стационаре были значительно ниже у пациентов, перенесших АКШ-ВИК и АКШ off-pump (по сравнению с пациентами группы АКШ-ИК). Несмотря на незначительные статистические различия в отношении

риска сердечно-сосудистых событий и краткосрочной выживаемости, долгосрочная выживаемость была значительно выше в группе пациентов, перенесших АКШ-ВИК.

По всей вероятности, наиболее значительным опытом выполнения АКШ-ВИК обладают Antunes и соавт. из Португалии [17]. Эта группа исследователей проводила АКШ без наложения зажима на аорту и без использования кардиopleгии. Вместо этого операции выполнялись на работающем сердце с подключением аппарата ИК. В ходе выполнения анастомозов авторы индуцировали фибрилляцию желудочков, разгружая сердце левожелудочковым дренажем. Результаты, полученные на 8515 пациентах, продемонстрировали госпитальную смертность на уровне 0,7%. Исследование проводилось на протяжении более чем 20 лет, описанная методика использовалась в 100% случаев, при этом треть пациентов соответствовала III/IV классам Канадского сердечно-сосудистого общества.

В 2016 г. были опубликованы 2 мета-анализа, сравнивавших эффективность методик АКШ-ВИК и АКШ off-pump, причем оба исследования показали превосходство АКШ-ВИК. В работе Ueki и соавт. [18] были проанализированы 14 исследований, посвященных АКШ-ВИК. Анализ показал, что АКШ-ВИК превосходит АКШ off-pump по показателю ранней постоперационной смертности, по частоте развития осложнений и может быть привлекательной альтернативой в группе пациентов высокого риска. Serperirou и соавт. [19] провели аналогичный мета-анализ, вычислив смертность, частоту развития инсульта, инфаркта миокарда и количество шунтов (индекс реваскуляризации) в группах АКШ-ВИК и АКШ off-pump. Результаты показали значительное превосходство АКШ-ВИК над АКШ off-pump в отношении индекса реваскуляризации, однако различия в смертности и в частоте развития нежелательных сердечно-сосудистых событий при этом были статистически не значимы.

Отметим следующие преимущества методики АКШ-ВИК, приведенные в специальной литературе: минимизация повреждений, наносимых миокарду; предпочтительнее для пациентов с тяжелой дисфункцией левого желудочка, острым инфарктом миокарда, нестабильной гемодинамикой, для пациентов на гемодиализе; снижение частоты развития неврологических осложнений; количество шунтов (по сравнению с АКШ off-pump); превосходит АКШ-ИК в случае конверсии методики.

ВЫВОДЫ

Методика АКШ-ВИК объединяет в себе преимущества работы на бьющемся сердце с безопасностью, которую гарантирует применение искусственного кровообращения.

АКШ-ВИК — это наиболее перспективная методика хирургической реваскуляризации миокарда, результаты которой превосходят результаты АКШ off-pump и АКШ-ИК, особенно у пациентов высокого риска.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

ЛИТЕРАТУРА

- Samuels L., Samuels M. Pump-Assisted Beating-Heart Coronary Artery Bypass Grafting: The Pursuit of Perfection. *J. Clin. Exp. Cardiol.* 2017; 8: 540. DOI: 10.4172/2155-9880.1000540.
- Thanikachalam M., Lombardi P., Tehrani H.Y., et al. The history and development of direct coronary surgery without cardiopulmonary bypass. *J. Card. Surg.* 2004; 19: 516–519. DOI: 10.1111/j.0886-0440.2004.04088.x.
- Fujii T., Watanabe Y., Shiono N., et al. Assessment of on-pump beating coronary artery bypass surgery performed after introduction of off-pump approach. *Ann. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2006; 12: 324–332. PMID: 17095974.
- Shroyer A.L., Hattler B., Wagner T.H., et al. Veterans Affairs ROOBY-FS Group. Five-year outcomes after on-pump and off-pump coronary-artery bypass. *N. Engl. J. Med.* 2017; 377: 623–32. DOI: 10.1056/NEJMoa1614341.
- Aydin A., Erkut B. On-Pump beating heart coronary revascularization: Is it valid for emergency revascularization? *Ann. Saudi. Med.* 2015; 35: 133–137. DOI: 10.5144/0256-4947.2015.133.
- Afrasiabirad A., Safaie N., Montazergaem H. On-pump beating coronary artery bypass in high risk coronary patients. *Iran. J. Med. Sci.* 2015; 40: 40–41. PMID: 25650152.
- Izumi Y., Magishi K., Ishikawa N. On-pump beating heart coronary artery bypass grafting for acute myocardial infarction. *Ann. Thorac. Surg.* 2006; 81: 573–576. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2005.08.036.
- Fattouch K., Guccione F., Dioguardi P., et al. Off-pump versus on-pump myocardial revascularization in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: a randomized trial. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2009; 137: 650–656. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2008.11.033.
- Darwazah A.K., Bader V., Isleem I., Helwa K. Myocardial revascularization using on-pump beating heart among patients with left ventricular dysfunction. *J. Cardiothorac. Surg.* 2010; 5: 109. DOI: 10.1186/1749-8090-5-109.
- Erkut B., Dag O., Kaygin M.A., et al. On-pump beating-heart versus conventional coronary artery bypass grafting for revascularization in patients with severe left ventricular dysfunction: early outcomes. *Can. J. Surg.* 2013; 56: 398–404. DOI: 10.1503/cjs.018412.
- Чернявский А.М., Несмачный А.С., Бобошко А.В. и др. Хирургическое лечение ишемической болезни сердца у пациентов с низкой фракцией выброса левого желудочка на работающем сердце в условиях искусственного кровообращения с превентивной гемодинамической поддержкой: непосредственные результаты. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2015; 19 (1): 51–58. [Chernyavskiy A.M., Nesmachnyu A.S., Boboshko A.V., et al. Surgical on-pump beating-heart treatment of ischemic patients with low LF ejection fraction: immediate results. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya.* 2015; 19 (1): 51–58. (In Russ.)].
- Xia L., Ji Q., Song K., et al. Early clinical outcomes of on-pump beating-heart versus off-pump technique for surgical revascularization in patients with severe left ventricular dysfunction: the experience of a single center. *J. Cardiothorac. Surg.* 2017; 12: 11. DOI: 10.1186/s13019-017-0572-x.
- Yu L., Gu T., Shi E., et al. On-pump with beating heart or cardioplegic arrest for emergency conversion to cardiopulmonary bypass during off-pump coronary artery bypass. *Ann. Saudi. Med.* 2014; 34: 314–319. DOI: 10.5144/0256-4947.2014.314.
- Alwan K., Falcoz P.E., Alwan J., et al. Beating versus arrested heart coronary revascularization: Evaluation by cardiac troponin I release. *Ann. Thorac. Surg.* 2004; 77: 2051–2055. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2003.11.004.
- Sabban M.A., Jalal A., Bakir B.M., et al. Comparison of neurological outcomes in patients undergoing conventional coronary artery bypass grafting, on-pump beating heart coronary bypass, and off-pump coronary bypass. *Neurosciences.* 2007; 12: 35–41.
- Tsai Y.T., Lin F.Y., Lai C.H., et al. On-pump beating heart coronary artery bypass provides efficacious short- and long-term outcomes in hemodialysis patients. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2012; 27: 2059–2065. DOI: 10.1093/ndt/gfr536.
- Antunes P.E., Ferrao de Oliveira J., Prieto D., et al. Coronary artery bypass surgery without cardioplegia: hospital results in 8515 patients. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2016; 49: 918–925. DOI: 10.1093/ejcts/ezv177.
- Ueki C., Sakaguchi G., Akimoto T., et al. On-pump beating-heart technique is associated with lower morbidity and mortality following coronary artery bypass grafting: a meta-analysis. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2016; 50: 813–821. DOI: 10.1093/ejcts/ezw129.
- Sepehripour A.H., Chaudhry U.A., Suliman A., et al. How revascularization on the beating heart with cardiopulmonary bypass compares to off-pump? A meta-analysis of observational studies. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2016; 22: 63–71. DOI: 10.1093/icvts/ivv291.