

Влияние уровня гипотермии в период циркуляторного ареста на течение раннего послеоперационного периода у пациентов с аневризмами восходящей аортыКозлов Б.Н.^{1,2}, Панфилов Д.С.¹, Сондуев Э.Л.¹, Пономаренко И.В.¹**Цель.** Оценить в сравнительном аспекте эффективность и безопасность реконструкции восходящей аорты по типу "полудуги", выполненной при разных температурных режимах в период циркуляторного ареста.**Материал и методы.** В исследование включено 104 пациента с аневризмой восходящего отдела аорты, которым в плановом порядке было выполнено протезирование восходящей аорты по типу "полудуги" в условиях циркуляторного ареста с антеградной перфузией головного мозга. В соответствии с проводимым температурным режимом все пациенты были разделены на две сопоставимые группы: 1 группа (n=28) — пациенты, прооперированные в условиях легкой гипотермии (29-31°С), 2 группа (n=76) — пациенты, прооперированные в условиях умеренной гипотермии (25-28°С).**Результаты.** Сравнительный анализ интраоперационных данных между группами пациентов легкой и умеренной гипотермии выявил достоверное различие по продолжительности искусственного кровообращения (111 [97; 135] мин vs 125 [108,5; 170] мин, p=0,031) и длительности операции (240 [210; 270] мин vs 275 [240; 330] мин, p=0,003). В раннем послеоперационном периоде лучшие результаты также были получены у пациентов группы легкой гипотермии. Так, у этих пациентов, по сравнению с пациентами группы "умеренной" гипотермии, была отмечена меньшая частота реоперации по поводу кровотечения (3,5% vs 5,2%, p=0,572), уменьшение объема трансфузии свежезамороженной плазмы (2 [2; 4] vs 4 [2; 4], p=0,03), сокращение длительности вентиляционной поддержки (10 [7; 16] ч vs 18 [10; 24] ч, p=0,002), а также сокращение койко-дня в палате интенсивной терапии (2 [2; 3] и 3 [2; 4] сут., p=0,005). Не было выявлено неврологического дефицита ни у одного из пациентов. Госпитальная летальность не имела значимых межгрупповых различий (p=0,541).**Заключение.** Повышение температурного режима в период циркуляторного ареста при протезировании восходящей аорты по типу "полудуги" относительно безопасно в отношении развития осложнений в раннем послеоперационном периоде. Легкая гипотермия не увеличивает хирургические риски

в раннем послеоперационном периоде по сравнению с результатами аортальной реконструкции, проведенной при "умеренной" гипотермии.

Ключевые слова: грудная аорта, гипотермия, полудуга.**Отношения и деятельность:** нет.¹НИИ кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск; ²ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия.

Козлов Б.Н. — д.м.н., в.н.с. отделения сердечно-сосудистой хирургии, зав. кардиохирургическим отделением № 1, ORCID: 0000-0002-0217-7737, Панфилов Д.С. — к.м.н., врач сердечно-сосудистой хирургии кардиохирургического отделения № 1, ORCID: 0000-0003-2201-350X, Сондуев Э.Л.* — аспирант отделения сердечно-сосудистой хирургии, ORCID: 0000-0002-0835-022X, Пономаренко И.В. — к.м.н., с.н.с. отделения сердечно-сосудистой хирургии, ORCID: 0000-0003-2494-0104.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): erdeniooo@mail.ru

Рукопись получена 10.07.2019**Рецензия получена** 24.08.2019**Принята к публикации** 29.08.2019**Для цитирования:** Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Сондуев Э.Л., Пономаренко И.В. Влияние уровня гипотермии в период циркуляторного ареста на течение раннего послеоперационного периода у пациентов с аневризмами восходящей аорты. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(8):3419. doi:10.15829/1560-4071-2020-3419**Early postoperative effects of the hypothermia level during hypothermic circulatory arrest in patients with ascending aortic aneurysm**Kozlov B.N.^{1,2}, Panfilov D.S.¹, Sonduev E.L.¹, Ponomarenko I.V.¹**Aim.** To compare the effectiveness and safety of ascending aortic hemiarch replacement performed during hypothermic circulatory arrest with different temperature regimens.**Material and methods.** The study included 104 patients with ascending aortic aneurysm, who underwent ascending aortic hemiarch replacement under hypothermic circulatory arrest and antegrade cerebral perfusion. Depending on the temperature regimen, all patients were divided into two comparable groups: group 1 (n=28) — patients operated on under mild hypothermia (29-31°С), group 2 (n=76) — patients operated on under moderate hypothermia (25-28°С).**Results.** Comparative analysis of intraoperative data between groups of patients with mild and moderate hypothermia revealed a significant difference in the duration of cardiopulmonary bypass (111 [97; 135] min vs 125 [108,5; 170] min, p=0,031) and surgery (240 [210; 270] min vs 275 [240; 330] min, p=0,003). In the early postoperative period, the best results were also obtained in patients of mild hypothermia group. In these patients, compared with moderate hypothermia group, there was a lower frequency of reoperation due to bleeding (3,5% vs 5,2%, p=0,572), a decrease in transfused fresh frozen plasma volume (2 [2; 4]

vs 4 [2; 4], p=0,03), a decrease in the ventilatory support duration (10 [7; 16] hours vs 18 [10; 24] hours, p=0,002), as well as a bed-day decrease in intensive care unit (2 [2; 3] and 3 [2; 4] days, p=0,005). No neurologic deficit was found in any of the patients. In-hospital mortality had no significant intergroup differences (p=0,541).

Conclusion. An increase in the temperature regimen during the ascending aortic hemiarch replacement performed under hypothermic circulatory arrest is relatively safe in relation to early postoperative complications. Mild hypothermia does not increase early postoperative surgical risks compared to moderate hypothermia.**Key words:** thoracic aorta, hypothermia, hemiarch.**Relationships and Activities:** none.¹Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk;²Siberian State Medical University, Tomsk, Russia.

Kozlov B.N. ORCID: 0000-0002-0217-7737, Panfilov D.S. ORCID: 0000-0003-2201-350X, Sonduev E.L.* ORCID: 0000-0002-0835-022X, Ponomarenko I.V. ORCID: 0000-0003-2494-0104.

*Corresponding author:
erdeniooo@mail.ru

Received: 10.07.2019 Revision Received: 24.08.2019 Accepted: 29.08.2019

For citation: Kozlov B.N., Panfilov D.S., Sonduev E.L., Ponomarenko I.V. Early postoperative effects of the hypothermia level during hypothermic circulatory arrest in patients with ascending aortic aneurysm. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(8):3419. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2020-3419

В настоящее время гипотермическая защита организма является стандартным подходом при операциях на дуге аорты [1-3]. Улучшение техники операции, методов защиты головного мозга послужили предпосылками к возможному снижению уровня гипотермии. Одной из главных позитивных сторон стратегии изменения температурного режима является снижение системного воспалительного ответа, минимизация дисфункции внутренних органов, снижение риска послеоперационного кровотечения — неблагоприятных последствий глубокой гипотермии [4, 5]. Некоторые авторы сообщают об успешных результатах, как при легкой [6], так и умеренной системной гипотермии [7, 8]. Однако до сих пор нет регламентирующих стандартизованных принципов в отношении уровня гипотермии, которая должна быть достигнута к моменту циркуляторного ареста.

Целью данного исследования явилась оценка эффективности и безопасности легкой гипотермии в сравнении с умеренной гипотермией в период циркуляторного ареста при реконструкции восходящей аорты по типу “полудуги”.

Материал и методы

Проведено ретроспективное исследование 104 пациентов с аневризмой восходящего отдела аорты, которым в плановом порядке было выполнено одной бригадой хирургов протезирование восходящей аорты по типу “полудуги” в условиях циркуляторного ареста с унилатеральной антеградной перфузией головного мозга в период с января 2015г по декабрь 2018г.

В соответствии с уровнями проводимой гипотермии все пациенты были разделены на две группы. В 1 группу вошли 28 пациентов, прооперированные в условиях легкой гипотермии (29–31° С), во 2 группу — 76 пациентов, прооперированные в условиях умеренной гипотермии (25–28° С). Клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

Пациенты были сопоставимы по антропометрическим параметрам, возрасту и сопутствующим заболеваниям. Наиболее часто встречающейся сопутствующей патологией в обеих группах была артериальная гипертензия. В 1 и 2 группах преобладали пациенты мужского пола — 20 (71%) и 52 (69%), соответственно ($p=0,531$). Средний возраст больных по группам составил 56,5 лет [47; 63], 60 лет [54; 66] ($p=0,117$).

Всем пациентам перед операцией проводили такие инструментальные исследования, как эхокардиография, электрокардиография и по показаниям

коронароангиография. Основным методом инструментальной диагностики патологии аорты была мультиспиральная компьютерная томография, выполненная на 64-срезовом томографе, в ходе которой на разных уровнях проводили замеры аорты, согласно клиническим рекомендациям [9] (табл. 2).

Фоновый уровень лабораторных показателей у обследуемых пациентов, в основном, в обеих группах был также сопоставим (табл. 3).

Оперативная техника. Во время операций стандартно проводили интраоперационный мониторинг показателей электрокардиограммы, центрального венозного давления, сатурации артериальной крови, эзофагеальной и ректальной температуры тела. Адекватность перфузии головного мозга оценивали посредством прямого измерения артериального давления в обеих лучевых артериях и осуществляли контроль сатурации венозной крови, оттекающей от головного мозга при помощи церебрального оксиметра (Invos 5100, Somanetics Corp, США; Foresight, Casmед, США). Одним из ключевых моментов на этапе циркуляторного ареста было поддержание уровня гемоглобина не менее 100 г/л и гематокрита не менее 25%.

Технические подробности оперативной техники опубликованы ранее [10, 11]. Вкратце, после выполнения стернотомного доступа подключали искусственное кровообращение по схеме брахиоцефальный ствол-правое предсердие и начинали постепенное охлаждение пациента до целевой температуры. Кардиоплегию осуществляли селективно в устья коронарных артерий раствором “Кустодиол” (Koehler Chemie, Германия). В период циркуляторного ареста нижней половины туловища и антеградной перфузии головного мозга формировали открытый дистальный аортальный анастомоз по малой кривизне дуги аорты напротив супрааортальных ветвей, начиная от устья левой подключичной артерии. После наложения дистального анастомоза завершали циркуляторный арест и возобновляли полное искусственное кровообращение с согреванием пациента до целевой температуры 36° С. Процедуры на проксимальном отделе аорты и коронарные вмешательства выполнялись на этапе согревания. Вариант проксимальной аортальной реконструкции зависел от наличия сопутствующей клапанной патологии, изменения нормальной конфигурации синусов Вальсальвы (протезирование аортального клапана, процедура David, Bentall-DeBono). При отсутствии данной сопутствующей патологии проксимальный анастомоз

Таблица 1

Предоперационная характеристика пациентов

Показатель	Легкая гипотермия (n=28)	Умеренная гипотермия (n=76)	P-уровень
Возраст, лет	56,5 [47; 63]	60 [54; 66]	0,117
ИМТ, кг/м ²	25,7 [24,2; 30,4]	27,2 [24,4; 30,8]	0,636
Мужской пол, n (%)	20 (71%)	52 (68%)	0,531
ИБС, n (%)	5 (17,8%)	21 (27%)	0,307
ПИКС, n (%)	1 (3,5%)	8 (10,5%)	0,263
АГ, n (%)	14 (50%)	51 (67%)	0,109
ХОБЛ, n (%)	3 (10,7%)	3 (4%)	0,189
ФП, n (%)	2 (7%)	12 (16%)	0,251
Сахарный диабет, n (%)	1 (3,5%)	1 (1,3%)	0,457

Сокращения: ИМТ — индекс массы тела, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ПИКС — постинфарктный кардиосклероз, АГ — артериальная гипертензия, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких, ФП — фибрилляция предсердий.

Таблица 2

Дооперационные размеры аорты по данным мультиспиральной компьютерной томографии

Уровень измерения	Легкая гипотермия (n=28)	Умеренная гипотермия (n=76)	P-уровень
Корень аорты, мм	42,5 [39; 47,5]	45 [40; 50,5]	0,534
Восходящая аорта, мм	51,5 [48; 56]	51 [47,7; 54,2]	0,374
Проксимальная часть дуги аорты (перед БЦС), мм	42 [36,5; 44]	41 [38; 45]	0,693
Дуга аорты, мм	31 [27,2; 33]	31 [29; 34]	0,243

Сокращение: БЦС — брахиоцефальный ствол.

Таблица 3

Дооперационные лабораторные показатели

Показатели	Легкая гипотермия (n=28)	Умеренная гипотермия (n=76)	P-уровень
Гемоглобин, г/л	149 [144; 157]	141 [132; 155]	0,181
Гематокрит, %	45,7 [44,5; 48,4]	42,5 [39,7; 45,5]	0,001
Тромбоциты, 10х9/л	228 [182; 274]	202 [166; 246]	0,069
Лейкоциты, 10х9/л	6,1 [5; 8]	6,1 [5,4; 7,5]	0,790
Мочевина, ммоль/л	5,5 [5,0; 6,4]	5,7 [4,7; 7,1]	0,997
Креатинин, мкмоль/л	94 [85; 105]	82 [70; 97]	0,004
СКФ, мл/мин/1,73 м ²	80,5 [67; 99]	89,5 [74; 106]	0,262

Сокращение: СКФ — скорость клубочковой фильтрации.

выполняли на уровне синотубулярного соединения аорты (табл. 4).

Исследование одобрено локальным этическим комитетом и выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. У всех пациентов было получено письменное информированное согласие.

Статистический анализ полученных результатов проведен с использованием пакета статистических программ Statistica 13.3 (США). С учетом неизвестного закона распределения данных были использованы непараметрические методы статистики. Непрерывные переменные представлены в виде медианы (Me) с интерквартильным размахом (25 и 75 перцен-

тиль, %). Категориальные переменные представлены в виде числовых значений и процентов. Достоверность межгрупповых различий непрерывных переменных определяли по критерию Манна-Уитни. Межгрупповое сравнение категориальных величин проводилось с использованием теста χ^2 или с помощью точного теста Фишера. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты

Анализ влияния используемых режимов гипотермии включал оценку параметров интра- и раннего послеоперационного периода. Так, при сравнении временных характеристик у пациентов обеих групп было отмечено, что продолжительность искусствен-

Таблица 4

Структура сочетанных кардиохирургических процедур

Операция	Легкая гипотермия (n=28)	Умеренная гипотермия (n=76)	P-уровень
Процедура Bentall-DeBono, n (%)	0	3 (4%)	0,286
Процедура David, n (%)	3 (11%)	9 (12%)	0,873
СКП, n (%)	7 (25%)	25 (33%)	0,439
СКП+ПАК, n (%)	18 (64%)	39 (51%)	0,238
КШ, n (%)	3 (11%)	10 (13%)	0,738

Сокращения: СКП — супракоронарное протезирование, ПАК — протезирование аортального клапана, КШ — коронарное шунтирование.

Таблица 5

Характеристики оперативного лечения

Показатель	Легкая гипотермия (n=28)	Умеренная гипотермия (n=76)	P-уровень
Время ИК, мин	111 [97; 135]	125 [108,5; 170]	0,031
Сердечный арест, мин	80 [75; 104]	80 [68; 115]	0,931
ЦА с АПГМ, мин	15 [13; 15]	15 [14; 19,5]	0,008
Время операции, мин	240 [210; 270]	275 [240; 330]	0,003
Температура тела, °C	30 [30; 30]	26 [25; 27]	0,00001

Сокращения: ИК — искусственное кровообращение, ЦА — циркуляторный арест, АПГМ — антеградная перфузия головного мозга.

Таблица 6

Характеристика раннего послеоперационного периода

Показатель	Легкая гипотермия (n=28)	Умеренная гипотермия (n=76)	P-уровень
ИВЛ, ч	10 [7; 16]	18 [10; 24]	0,002
Пребывание в ПИТ, сут.	2 [2; 3]	3 [2; 4]	0,005
Постоянный неврологический дефицит, n (%)	0	0	0,924
Инфаркт миокарда, n (%)	0	0	0,918
Рестернотомия (кровотечение), n (%)	1 (3,5%)	4 (5,2%)	0,572
ОПН, n (%)	1 (3,5%)	0	0,097
Синдром полиорганной недостаточности, n (%)	1 (3,5%)	1 (1,3%)	0,457
Госпитальная летальность, n (%)	0	1 (1,3%)	0,541

Сокращения: ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ПИТ — палата интенсивной терапии, ОПН — острая почечная недостаточность.

ного кровообращения и всей операции были значительно короче в группе легкой гипотермии при сопоставимой длительности циркуляторного и сердечного ареста (табл. 5).

Течение раннего послеоперационного периода у обсуждаемых пациентов характеризовалось некоторыми особенностями (табл. 6). Длительность искусственной вентиляции легких у пациентов группы легкой гипотермии была значительно короче относительно пациентов, оперированных в условиях умеренной гипотермии (10 [7; 16] ч vs 18 [10; 24] ч, $p=0,002$). Кроме того, наблюдалось сокращение пребывания в палате интенсивной терапии пациентов группы легкой гипотермии (2 [2; 3] сут. vs 3 [2; 4] сут., $p=0,005$).

По частоте послеоперационных осложнений у пациентов обеих групп статистически достоверных различий не было выявлено. В анализируемых группах больных не было отмечено эпизодов постоянного неврологического дефицита и кардиальных осложнений. Острая почечная недостаточность, потребовавшая проведение нескольких сеансов гемодиализа, была выявлена у 1 (3,5%) пациента из группы легкой гипотермии. При этом синдром полиорганной недостаточности был диагностирован по 1 случаю в группах легкой и умеренной гипотермии — 1,3% и 3,5%, соответственно ($p=0,457$). Госпитальная летальность была зарегистрирована в 1 (1,3%) случае и только в группе умеренной гипотермии. Причиной смерти стал синдром полиорганной недостаточности.

Таблица 7

Трансфузионная нагрузка в раннем послеоперационном периоде

Трансфузия сред	Легкая гипотермия (n=28)	Умеренная гипотермия (n=76)	P-уровень
Свежезамороженная плазма, дозы	2 [2; 4]	4 [2; 4]	0,036
Эритроцитарная масса, дозы	1 [1; 2]	2 [1;2]	0,123
Тромбоконцентрат, дозы	2 [2; 2]	2 [2; 2]	0,097

Объем отделяемого по дренажам за сутки у анализируемых групп пациентов не различался. Так, в группе легкой гипотермии объем дренажной кровопотери составил 400 [300; 600] мл, в группе умеренной гипотермии — 350 [250; 450] мл ($p=0,485$). При этом частота рестернотомии по поводу развившегося кровотечения в первые сутки была выше в группе с умеренной гипотермией по сравнению с группой легкой гипотермии (5,2% vs 3,5%). Однако достоверно значимой статистической разницы не было достигнуто ($p=0,572$).

При этом достоверно различалась потребность в трансфузии свежемороженой плазмы в группах легкой и умеренной гипотермии ($p=0,036$). По объему восполненной эритроцитарной массы и тромбоконцентрата межгрупповых различий не было (табл. 7).

Обсуждение

Хирургическое вмешательство на восходящей аорте с вовлечением дуги аорты, является высокотехнологичной процедурой и требует проведения циркуляторного ареста в условиях гипотермии [12].

Несмотря на преимущества гипотермии, оказывающее защитное влияние на головной мозг и внутренние органы, широко известны такие специфические осложнения, как коагулопатия, полиорганная недостаточность и увеличение системного воспалительного ответа. При детальном изучении было доказано, что церебральные, легочные, кардиальные, геморрагические и почечные осложнения обусловлены не столько гипотермией, сколько повреждением эндотелия при увеличенной продолжительности искусственного кровообращения, требуемой для согревания пациента [13–16].

Предложенная Bacht J, et al (1991) [17] и Kazui T, et. al (1992) [18] антеградная перфузия головного мозга при хирургической реконструкции дуги аорты, как альтернативный вариант церебральной защиты, в значительной степени уменьшила потребность в глубоком охлаждении пациента, что позволило изменить традиционную стратегию защиты головного мозга и относительно безопасно выполнять вмешательство на грудной аорте при более высоких температурах [3, 19, 20]. Это позволило сократить длительность искусственного кровообращения и, как следствие, сократить проявления признаков систем-

ного воспаления в раннем послеоперационном периоде [4].

В последние годы наметилась тенденция к повышению уровня гипотермии в период циркуляторного ареста с антеградной перфузией головного мозга при реконструкции дуги аорты [8, 21]. Так, ряд авторов сообщили об относительной безопасности умеренной гипотермии по сравнению с глубокой гипотермией, включая снижение уровня госпитальной летальности [4, 5, 15].

Согласно полученным нами данным повышение температурного режима с 26°C до 30°C при аортальных реконструкциях восходящего отдела аорты по типу “полудуги” сопровождается достоверным сокращением длительности искусственного кровообращения ($p=0,03$) и продолжительности операции ($p=0,003$). Кроме того, было отмечено сокращение длительности вентиляционной поддержки ($p=0,002$), что опосредовано сократило продолжительность пребывания пациентов в палате интенсивной терапии ($p=0,005$). Эти результаты могут являться одним из аргументов в пользу снижения уровня гипотермии при протезировании восходящего отдела аорты.

Согласно собственным данным сокращение частоты послеоперационного кровотечения, требующего рестернотомии, у пациентов с легкой гипотермией по сравнению с умеренной гипотермией, позволило уменьшить дополнительную хирургическую травму и снизить трансфузионную нагрузку на пациента, оказав положительное влияние на реабилитацию больного в послеоперационном периоде. Полученный нами результат согласуется с данными литературы. Так, отмечено Kamiya H, et al. (2007) [4], что более глубокий уровень гипотермии и длительное время искусственного кровообращения являются значимыми факторами риска, увеличивающими объем кровотечения после операций на дуге аорты. Также, Vallabhajosyula P, et al. (2015) и Keenan JE, et al. (2016) [22, 23] выявили, что повышение температурного режима при операции ассоциируется со значимым уменьшением периоперационного переливания компонентов крови (эритроцитарная масса, свежемороженая плазма) у пациентов после Hemiarth-процедуры, проведенной в условиях глубокой и умеренной гипотермии.

Сравнительный анализ полученных результатов операции, выполненной на фоне легкой и умеренной

гипотермии, не выявил статистически значимой разницы по таким показателям раннего послеоперационного периода как частота неврологических, кардиальных, почечных осложнений. Схожая по дизайну работа была опубликована Leshnower BG, et al. (2012) [8], в которой авторы проанализировали результаты Hemiarch-процедуры при разных уровнях гипотермии: “умеренной” и “легкой”. Однако стоит отметить, что диапазон температур в данном исследовании был ниже. Так, для умеренной гипотермии средняя температура составила $24,3 \pm 1,2^\circ \text{C}$, а для легкой — $28,6 \pm 1,3^\circ \text{C}$. Результаты исследования продемонстрировали статистически значимое сокращение эпизодов постоянного неврологического дефицита у пациентов ($2,5\%$ vs $7,2\%$, $p=0,01$), оперированных в условиях легкой гипотермии, при сопоставимой частоте других анализируемых показателей раннего послеоперационного периода. Таким образом, увеличение температурного режима в период циркулятор-

ного ареста при операциях по типу “полудуги” ассоциируется с удовлетворительными послеоперационными результатами, сокращая при этом длительность искусственного кровообращения и сердечного ареста.

Заключение

Повышение температурного режима в период циркуляторного ареста при протезировании восходящей аорты по типу “полудуги” относительно безопасно в отношении развития осложнений в раннем послеоперационном периоде. Легкая гипотермия не увеличивает хирургические риски в раннем послеоперационном периоде по сравнению с результатами аортальной реконструкции, проведенной при умеренной гипотермии.

Отношения и деятельность: авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Griep RB, Di Luozzo G. Hypothermia for aortic surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;145:56-8. doi:10.1016/j.jtcvs.2012.11.072.
- Belov YuV, Charchyan ER, Axelrod BA, et al. Protection of the brain and internal organs during reconstructive interventions on the aortic arch: features of intraoperative tactics and monitoring. *Pathology of blood circulation and heart surgery.* 2016;20(4):34-44. (In Russ.) Белов Ю. В., Чарчян Э. Р., Аксельрод Б. А. и др. Защита головного мозга и внутренних органов при реконструктивных вмешательствах на дуге аорты: особенности интраоперационной тактики и мониторинга. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2016;20(4):34-44. doi:10.21688-1681-3472-2016-4-34-44.
- Yan TD, Bannon PG, Bavaria J, et al. Consensus on hypothermia in aortic arch surgery. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(2):163-8. doi:10.3978/j.issn.2225-319X.2013.03.03.
- Hiroviki K, Hagl C, Kropivnitskaya I, et al. The safety of moderate hypothermic lower body circulatory arrest with selective cerebral perfusion: a propensity score analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2007;133:501-9. doi:10.1016/j.jtcvs.2006.09.045.
- Abdelgawad A, Arafat H. Moderate versus deep hypothermic circulatory arrest for ascending aorta and aortic arch surgeries using open distal anastomosis technique. *Journal of the Egyptian Society of Cardio-Thoracic Surgery.* 2017;25:323-30. doi:10.1016/j.jescts.2017.1.006.
- Zierer A, Detho F, Dzembali O, et al. Antegrade cerebral perfusion with mild hypothermia for aortic arch replacement: single-center experience in 245 consecutive patients. *Ann Thorac Surg.* 2011;91:1868-74. doi:10.1016/j.athoracsur.2011.02.077.
- Leshnower BG, Myung RJ, Kilgo PD, et al. Moderate hypothermia and unilateral selective antegrade cerebral perfusion: a contemporary cerebral protection strategy for aortic arch surgery. *Ann Thorac Surg.* 2010;90:547-54. doi:10.1016/j.athoracsur.2010.03.118.
- Leshnower BG, Myung RJ, Thourani VH, et al. Hemiarch Replacement at 28°C : An Analysis of Mild and Moderate Hypothermia in 500 Patients. *Ann Thorac Surg.* 2012;93:1910-6. doi:10.1016/j.athoracsur.2012.02.069.
- Guidelines for diagnosis and treatment of aortic diseases (2017). *Kardiologiya i serdечно-sosudistaya khirurgiya.* 2018;11(1):7-67. (In Russ.) Клинические рекомендации. Рекомендации по диагностике и лечению заболеваний аорты (2017). *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2018;11(1):7-67.
- Kozlov BN, Panfilov DS, Kuznetsov MS, et al. Antegrade unilateral perfusion of the brain through the brachiocephalic trunk during operations on the aortic arch. *Angiology and vascular surgery.* 2016;22(1):195-7. (In Russ.) Козлов Б. Н., Панфилов Д. С., Кузнецов М. С. и др. Антеградная унilaterальная перфузия головного мозга через брахиоцефальный ствол при операциях на дуге аорты. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2016;22(1):195-7.
- Kozlov BN, Panfilov DS, Gorokhov AS, et al. Results of radical reconstruction of thoracic aortic aneurysms using hemi-arch technique. *Kardiologiya i serdечно-sosudistaya khirurgiya.* 2016;9(1):42-6. (In Russ.) Козлов Б. Н., Панфилов Д. С., Горохов А. С. и др. Результаты радикальной реконструкции аневризм грудной аорты по методике “Hemiarch”. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2016;9(1):42-6. doi:10.17116/kardio20169142-46.
- Czerny M, Schmidli J, Adler S, et al. Current options and recommendations for the treatment of thoracic aortic pathologies involving the aortic arch: an expert consensus document of the European Association for Cardio-Thoracic surgery (EACTS) and the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018;55(1):133-62. doi:10.1093/ejcts/ezy313.
- Haverich A, Hagl C. Organ protection during hypothermic circulatory arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;125:460-2. doi:10.1067/jtc.2003.291.
- Harrington DK, Lilley JP, Rooney SJ, et al. Nonneurologic morbidity and profound hypothermia in aortic surgery. *Ann Thorac Surg.* 2004;78:596-601. doi:10.1016/j.athoracsur.2004.01.012.
- Tsai JY, Pan W, LeMaire SA, et al. Moderate hypothermia during aortic arch surgery is associated with reduced risk of early mortality. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;146:662-7. doi:10.1016/j.jtcvs.2013.03.004.
- Panfilov DC, Kozlov BN, Zatolokin VV. Prevention of hemorrhagic complications during operations on the thoracic aorta. *Russ J Cardiol.* 2018;23(11):70-6. (In Russ.) Панфилов Д. С., Козлов Б. Н., Затолокин В. В. и др. Профилактика геморрагических осложнений при операциях на грудной аорте. *Российский кардиологический журнал.* 2018;23(11):70-6. doi:10.15829/1560-4071-2018-11-70-76.
- Bachet J, Guilmet D, Goudot B, et al. Cold cerebroplegia. A new technique of cerebral protection during operations on the transverse aortic arch. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1991;102(1):85-93; discussion 93-94.
- Kazui T, Inoue N, Yamada O, et al. Selective cerebral perfusion during operation for aneurysms of the aortic arch: a reassessment. *Ann Thorac Surg.* 1992;53:109-14. doi:10.1016/0003-4975(92)90767-x.
- Tian DH, Wan B, Bannon PG, et al. A meta-analysis of deep hypothermic circulatory arrest versus moderate hypothermic circulatory arrest with selective antegrade cerebral perfusion. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(2):148-58. doi:10.3978/j.issn.2225-319X.2013.03.13.
- Zierer A, Ahmad AES, Papadopoulos N, et al. Selective antegrade cerebral perfusion and mild (28°C – 30°C) systemic hypothermic circulatory arrest for aortic arch replacement: results from 1002 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2012;144(5):1042-50. doi:10.1016/j.jtcvs.2012.07.063.
- Urbanski PP, Lenos A, Bougioukakis P, et al. Mild-to-moderate hypothermia in aortic arch surgery using circulatory arrest: a change of paradigm? *Eur J Cardiothorac Surg.* 2011;41(1):185-91. doi:10.1016/j.ejcts.2011.03.060.
- Vallabhajosyula P, Jassar AS, Menon RS, et al. Moderate versus deep hypothermic circulatory arrest for elective aortic transverse hemiarch reconstruction. *Ann Thorac Surg.* 2015;99(5):1511-7. doi:10.1016/j.athoracsur.2014.12.067.
- Keenan JE, Wang H, Gulack BC, et al. Does moderate hypothermia really carry less bleeding risk than deep hypothermia for circulatory arrest? A propensity-matched comparison in hemiarch replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;152(6):1559-69. doi:10.1016/j.jtcvs.2016.08.014.