



Опыт применения одновременной селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела при реконструкции дуги аорты у детей раннего возраста

В. В. БАЗЫЛЕВ, К. Т. ЩЕГЛОВА, Н. Н. АРТЕМЬЕВ, А. И. МАГИЛЕВЕЦ, А. А. ШИХРАНОВ, М. В. КОКАШКИН, Н. Е. МАКОГОНЧУК, Д. А. БОФАНОВ

Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, г. Пенза, РФ

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Выбор стратегии перфузии жизненно важен для защиты внутренних органов во время операции. В ряде исследований последних лет предложена стратегия непрерывной тотальной всерегиональной (sustained total all region – STAR) перфузии (перфузия головного мозга, сердца и нижних отделов тела), позволяющая избежать ишемических и реперфузионных повреждений внутренних органов.

Цель – оценить преимущества STAR-перфузии при реконструкции дуги аорты у детей.

Материалы и методы. В проспективное исследование включены 15 пациентов, которым была выполнена реконструкция дуги аорты с использованием стратегии одновременной селективной перфузии головного мозга, сердца и нижних отделов тела (STAR-перфузия) в период с июня 2022 г. по май 2023 г. Средний возраст на момент операции составил 1,3 месяца (95 % ДИ (доверительный интервал) 6,0–16,0), средняя масса тела составила 3,4 кг (95 % ДИ 2,7–4,1).

Результаты. Изменения показателя тканевой оксиметрии, измеренные в 2 точках, не опускались ниже референтных значений ни на одном этапе операции. Наибольшее среднее значение концентрации лактата во время операции составило $2,8 \pm 1,0$ ммоль/л, восстановление показателя отмечено через 6 часов – $1,9 \pm 0,9$ ммоль/л. Оценка функции почек – показатель диуреза и уровень креатинина не превышали референтных значений. Среднее время лечения в отделении интенсивной терапии составило $7,7 \pm 4,3$ дня (95 % ДИ $4,5 \pm 10,9$), в стационаре – $15,4 \pm 5,8$ дня (95 % ДИ 11,4–19,4). Летальных исходов среди оперированных по новой перфузионной стратегии не было.

Выводы. Применение стратегии STAR-перфузии при реконструкции дуги аорты у новорожденных, детей грудного и раннего возраста безопасно и перспективно, так как позволяет избежать ишемии внутренних органов и снижает риск развития постишемических осложнений.

Ключевые слова: дети, новорожденный, младенцы, реконструкция дуги аорты, перфузионная стратегия, STAR-перфузия, устойчивая общая перфузия во всех регионах

Для цитирования: Базылев В. В., Щеглова К. Т., Артемьев Н. Н., Магилевец А. И., Шихранов А. А., Кокашкин М. В., Макогончук Н. Е., Бофанов Д. А. Опыт применения одновременной селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела при реконструкции дуги аорты у детей раннего возраста // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2023. – Т. 20, № 6. – С. 35–42. DOI: 10.24884/2078-5658-2022-20-6-35-42.

Experience in applying the strategy of simultaneous selective perfusion of the brain, heart and lower body in reconstruction of the aortic arch in infants

V. V. BAZYLEV, K. T. SHCHEGLOVA, N. N. ARTEMYEV, A. I. MAGILEVETS, A. A. SHIKHRANOV, M. V. KOKASHKIN, N. E. MAKOGONCHUK, D. A. BOFANOV

Federal Center of cardiovascular surgery, Penza, Russia

ABSTRACT

Relevance. The choice of perfusion strategy is vital for the protection of internal organs during surgery. In several studies of recent years, as well as by us, a strategy of sustained total all region (STAR) perfusion (selective brain, heart and lower body perfusion) has been proposed, allowing to avoid ischemic and reperfusion injuries of internal organs.

The **objective** was to evaluate the benefits of STAR perfusion during reconstruction of the aortic arch in children.

Materials and methods. The prospective study included 15 patients who underwent aortic arch reconstruction using a strategy of simultaneous selective brain, heart and lower body perfusion (STAR perfusion) in the period from June 2022 to May 2023. The average age at the time of surgery was 1.3 months (95 % CI (confidence interval) 6.0–16.0), the average body weight was 3.4 kg (95 % CI 2.7–4.1).

Results. Changes of the tissue oximetry index, measured at two points, did not fall below reference ranges at any stage of the operation. The greatest mean value of lactate concentration during the operation was $2,8 \pm 1,0$ mmol/l, recovery of the indicator was noted after 6 hours – $1,9 \pm 0,9$ mmol/l. Kidney function evaluation – the rate of diuresis and creatinine levels did not exceed reference levels. The average treatment time in the intensive care unit was $7,7 \pm 4,3$ days (95 % CI 4.5 10.9), in the hospital – $15,4 \pm 5,8$ days (95 % CI 11.4–19.4). There were no deaths among those operated using the new perfusion strategy.

Conclusion. The use of the strategy of Sustained Total All Region (STAR) perfusion in case of reconstruction of the aortic arch in newborn, infants and young children is safe and advanced, since it avoids ischemia of internal organs and reduces the risk of post-ischemic complications.

Key words: children, newborn, infants, aortic arch reconstruction, perfusion strategy, STAR perfusion, Sustained Total All Region perfusion

For citation: Bazylev V. V., Shcheglova K. T., Artemyev N. N., Magilevets A. I., Shikhranov A. A., Kokashkin M. V., Makogonchuk N. E., Bofanov D. A. Experience in applying the strategy of simultaneous selective perfusion of the brain, heart and lower body in reconstruction of the aortic arch in infants. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2023, Vol. 20, № 6, P. 35–42. (In Russ.) DOI: 10.24884/2078-5658-2022-20-6-35-42.

Для корреспонденции:
Клара Тамирлановна Щеглова
E-mail: klara-tamir@yandex.ru

Correspondence:
Klara T. Shcheglova
E-mail: klara-tamir@yandex.ru

Введение

Аномалии дуги аорты являются одними из наиболее тяжелых врожденных пороков сердца (ВПС), требующих проведения неотложного оперативного лечения уже в периоде новорожденности [12]. Выбор стратегии перфузии во время оперативного вмешательства имеет определяющее значение для защиты головного мозга и висцеральных органов [7, 10]. Длительное время реконструкцию дуги аорты выполняли в условиях глубокой гипотермической остановки кровообращения с применением селективной перфузии головного мозга (СПГМ). Данная стратегия, несомненно, обеспечивает перфузию головного мозга, в то время как защита внутренних органов обеспечивается лишь гипотермией [8, 13]. Длительная ишемия как сама по себе, так и последующая реперфузия могут привести к повреждению уязвимых органов – почек, кишечника, печени с развитием острой почечной недостаточности, некротического энтероколита, печеночной недостаточности [1, 2, 6, 13]. Перфузия нижней половины тела представляется перспективной стратегией защиты внутренних органов. Разные авторы предложили несколько методик проведения данной перфузии (ретроградной перфузии аорты с использованием сосудистого интродьюсера в бедренной артерии, канюляции нисходящей аорты), каждый из которых имеет как преимущества, так и недостатки [12].

Применение стратегии одновременной перфузии головного мозга, сердца и нижней половины тела через сосудистый интродьюсер в бедренной артерии (стратегия устойчивой тотальной всерегиональной перфузии – sustained total all region (STAR-perfusion)) представляется безопасной и эффективной стратегией, позволяющей избежать ишемических повреждений внутренних органов [5, 10, 11, 13, 14].

Цель исследования – оценить эффективность одновременной селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела при реконструкции дуги аорты у детей.

Материалы и методы

Дизайн исследования. В проспективное исследование включено 15 пациентов, которым выполнялась реконструкция дуги аорты (как изолированно, так и как этап коррекции сложного ВПС) в период с июня 2022 г. по май 2023 г. с применением стратегии селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела.

Средний возраст на момент операции составил 1,3 месяцев (95% ДИ (доверительный интервал) 0,1–2,9). Пациенты мужского пола преобладали – 66,6%, как и в целом в популяции до 18 лет. Среднее значение массы тела составило 3,4 кг (95% ДИ 2,7–4,1). У 1 пациента диагностирована генетическая патология – синдром Дауна.

Исследование было одобрено этическим Комитетом ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава РФ (г. Пенза), протокол № 24 от 14.05.2022 г. и проводилось в соответствии с правилами GCP (Good Clinical Practice). Все законные представители пациентов дали письменное добровольное информированное согласие.

Проанализированы анатомо-демографические показатели дооперационного этапа, клинико-лабораторные и инструментальные показатели в раннем послеоперационном периоде, имеющие непосредственное влияние на исходы заболевания и прогноз.

Критериями исключения были: отказ родителей или законных представителей на применение стратегии селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела. Ни один пациент, которому применялась новая перфузионная стратегия, не был исключен из исследования.

Методы исследования. Методы исследования включали клинические критерии (длительность применения катехоламинов и проведения искусственной вентиляции легких (ИВЛ)), почасовой темп диуреза), лабораторной (концентрация лактата, креатинина) и инструментальной диагностики (неинвазивная инфракрасная спектроскопия, near-infrared spectroscopy – NIRS), фракция выброса (ФВ)).

Анестезия. Оперативное вмешательство выполнялось в условиях комбинированной (внутривенной и ингаляционной) анестезии. Учитывая возраст пациентов (большинство новорожденные), кормление отменяли за 2 часа до транспортировки в операционную. Премедикации не было. По приезде в операционную мониторинг включал регистрацию электрокардиограммы (ЭКГ), транскутанной сатурации, неинвазивного артериального давления (АД). Индукцию анестезии осуществляли ингаляционным анестетиком севофлураном. В качестве миорелаксанта использовали рокуроний 1 мг/кг, далее после введения фентанила в дозе 3–5 мкг/кг проводили интубацию трахеи и перевод пациента на ИВЛ в режиме управления по давлению. Параметры вентиляции устанавливали следующие: концентрация кислорода на вдохе (FiO_2) 0,3–0,4 (у пациентов с септальными дефектами во избежание легочной гиперволемии $FiO_2 = 0,21$), положительное давление конца выдоха (ПДКВ) 4–5 см вод. ст., дыхательный объем 6–8 мл/кг, концентрация CO_2 на выдохе 40–45 мм рт. ст.

После перевода на ИВЛ выполняли катетеризацию сосудов. Для венозного доступа выбирали бедренную или внутреннюю яремную вену.

Для поддержания анестезии использовали севофлуран в 0,5–2,5 минимальной альвеолярной концентрации (МАК) и внутривенную инфузию фентанила в дозе 7–10 мкг·кг⁻¹·ч⁻¹.

Устанавливали два артериальных катетера – в лучевую артерию (преимущественно справа, в случае отхождения левой подключичной артерии выше области сужения аорты возможно использовать и лучевую артерию слева) и в бедренную артерию. Для

бедренной артерии применяли катетер 22G у детей до 5 кг, от 5 кг устанавливали катетер 20 G. Катетеризировали мочевой пузырь для оценки почасового диуреза. Проводили термометрию в 2 точках, как правило, ректальной и назальной.

Техника канюляции. До этапа канюляции и начала искусственного кровообращения (ИК) всем детям к брахиоцефальному стволу подшивали протез из политетрафторэтилена (ПТФЭ) диаметром 3,5 или 4 мм. Выбор диаметра протеза происходил в зависимости от массы ребенка и расчетного значения диаметра артериальной канюли. У пациентов с реконструкцией дуги аорты протез фиксировали по передней (фронтальной) поверхности брахиоцефального ствола, а у детей, которым выполняли операцию Норвуда – по нижней (каудальной). В последнем варианте протез использовали для создания системно-легочного шунта (модифицированного шунта Блэлока–Томаса–Тауссиг) после переканюляции в реконструированную аорту.

Петля аппарата искусственного кровообращения размыкалась, к аортальной магистрали крепили трехходовой кран, канюлю помещали в протез на глубину около 1 см при общей длине шунта 2,5–3 см. Фиксацию канюли в протезе осуществляли 2 лавсановыми лигатурами.

После начала искусственного кровообращения к трехходовому крану подсоединяли удлинители для коронарной перфузии и перфузии нижней части тела. Удлинители заполняли гепаринизированной кровью из контура аппарата ИК. Восходящую аорту канюлировали кардиоплегической канюлей Медтроник в случае реконструкции дуги и «оливкообразной» канюлей в случае выполнения операции Норвуда и необходимости создать аортолегочный анастомоз.

Удлинитель для перфузии нижней части тела в стерильных условиях соединяли с аортальным катетером, установленным анестезиологом на этапе подготовке к оперативному вмешательству. Удлинитель для коронарной перфузии соединяли с кардиоплегической канюлей. Схема расположения канюль изображена на рис. 1.

Следует отметить, что легочный кровоток прекращали сразу после начала искусственного кровообращения (путем перевязки и/или пересечения артериального протока) и выполняли дренирование левых отделов сердца.

После дополнительной мобилизации сосудов производили разделение перфузии по регионам путем наложения зажимов и латексных обтяжек. В первую очередь пережимали все брахиоцефальные сосуды (латексными обтяжками). Далее пережимали восходящую аорту и грудную аорту – аортальным зажимом и зажимом Сатинского соответственно.

С этого момента пациент находился на постоянной, раздельной гемисферальной перфузии, коронарной перфузии и перфузии нижней части туловища.

После завершения этапа реконструкции аорты все обтяжки и зажимы снимали. Канюлю для пер-

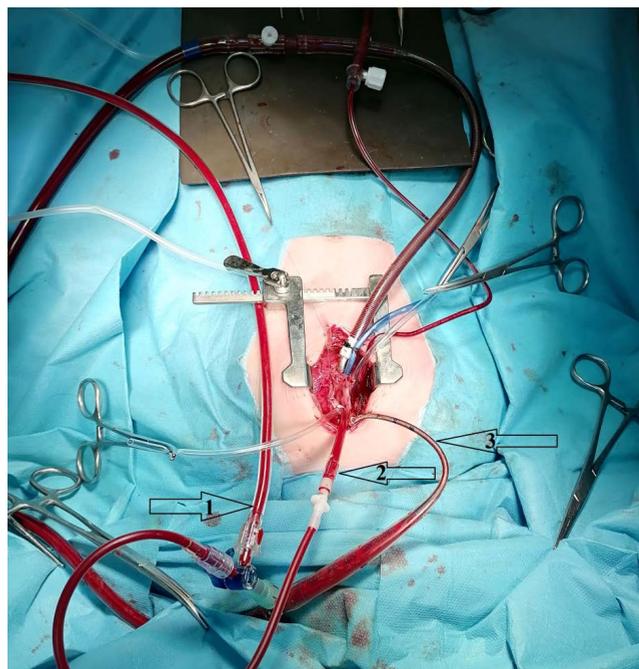


Рис. 1. Интраоперационное положение канюль: 1 – канюля для перфузии коронарных артерий, 2 – магистраль к бедренной артерии, 3 – аортальная канюля в брахиоцефальном стволе (через шунт из ПТФЭ)

Fig. 1. Intraoperative position of the cannulas: 1 – cannula for perfusion of the coronary arteries, 2 – line to the femoral artery, 3 – aortic cannula in the brachiocephalic trunk (through a PTFE shunt)

фузии коронарных сосудов удали, бедренный катетер подключали к линии инвазивного мониторинга артериального давления.

Стратегия перфузии. С целью контроля адекватности перфузии головного мозга проводили неинвазивную инфракрасную спектроскопию тканевой оксигенации путем установки датчика в лобной области, для оценки адекватности спланхической перфузии второй датчик устанавливали на противоположную канюлированной артерии голень.

Канюляция магистральных сосудов допускалась после внутривенного введения гепарина в дозе 300 Ед/кг и достижения активированного времени свертывания (АСТ) не менее 450 с.

ИК проводили при перфузионном давлении 35–40 мм рт. ст., перфузионный индекс 3,0. При выполнении операции Норвуда ИК проводили в режиме умеренной гипотермии – 32С, во всех остальных случаях применяли нормотермическую перфузию.

После пережатия восходящего и нисходящего отдела аорты и начала селективной перфузии оценивали ЭКГ, при появлении депрессии сегмента ST магистральным зажимом ограничивался поток по аортальной канюле. Кровоток в головном мозге мониторировали по показателю NIRS и цифрам инвазивного АД, в нижней части тела – по показателю NIRS.

Отключение от ИК осуществляли при стабильной гемодинамике и удовлетворительных показателях газов артериальной и венозной крови. По показаниям после прекращения ИК проводили наружную

Таблица 1. Клинико-демографическая и анатомическая характеристика больных**Table 1.** Clinical, demographic and anatomical characteristics of patients

Показатель	М ± у (n; %)	Минимальное значение	Максимальное значение	95% ДИ
Пол, мужской	(10; 66,6)	–	–	–
Возраст, месяцы	1,3 ± 1,1	0,1	12	0,7–1,9
Новорожденные	(11; 73,3)	–	–	–
Масса тела, кг	3,4 ± 1,1	2,0	5,4	2,7–4,1
Генетические синдромы	(1; 6,6)	–	–	–
Aristotle comprehensive score	10,6 ± 2,6	7,0	21,0	9,4–11,6
Операция Норвуда	(1; 6,6)	–	–	–
Операция Норвуда, Гленна	(1; 6,6)	–	–	–
Реконструкция дуги аорты	(8; 53,3)	–	–	–
Реконструкция дуги аорты. Суживание легочной артерии	(5; 33,3)	–	–	–

Примечание: ДИ – доверительный интервал.

Таблица 2. Характеристика пациентов по клинико-лабораторным показателям интра- и раннего послеоперационного периода**Table 2.** Characteristics of patients according to clinical and laboratory parameters of the intra- and early postoperative period

Показатель	М ± у (n; %)	Минимальное значение	Максимальное значение	95% ДИ
ИК, мин	87,3 ± 24,6	55,0	214,0	78,5–96,5
МУФ, мл (6 случаев)	145,8 ± 46,2	70,0	200,0	97,3–194,3
ИВЛ, ч	112,6 ± 57,3	45,0	287,0	81,0–114,1
Инотропная поддержка, ч	138,5 ± 53,5	48,0	393,0	109,1–167,8
Гидробаланс, 1-е сут	29,3 ± 18,8	–26,0	+93,5	19,1–39,4
Фракция выброса, д/о, %	62,8 ± 17,5	27,0	77,0	53,1–72,5
Фракция выброса, п/о, %	55,0 ± 14,9	20,0	67,0	46,7–63,2
Койко-день в стационаре	15,4 ± 5,8	5,0	27,0	11,4–19,4
Койко-день в ОРИТ	7,7 ± 4,3	3,0	20,0	4,5–10,9

Примечание: ИК – искусственное кровообращение, МУФ – модифицированная ультрафильтрация, ИВЛ – искусственная вентиляция легких, д/о – до операции, п/о – после операции, ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии, ДИ – доверительный интервал.

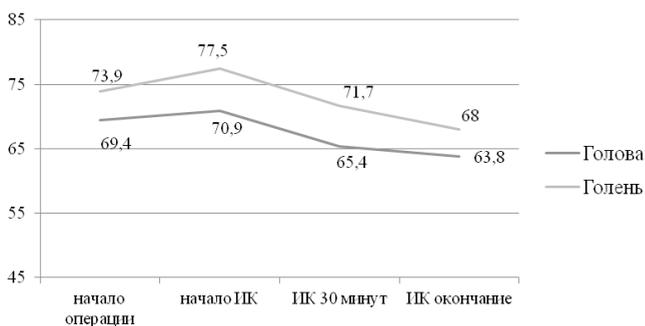


Рис. 2. Динамика показателя NIRS во время операции (среднее значение): ИК – искусственное кровообращение

Fig. 2. Dynamics of the NIRS score during surgery (average value)

электрокардиостимуляцию, инфузию инотропных препаратов. Инактивацию гепарина осуществляли протамином до достижения АСТ 90–130 с.

Статистика. Все клинические данные были взяты из электронной истории болезни («Медиа-лог 7.10 В0119»), общая база данных составлена в программе Microsoft Office Excel. Статистическую обработку полученных результатов осуществляли с помощью программы IBM® SPSS® Statistics Version 21 (21.0.0.0).

Количественные показатели представлены как среднее значение (μ) и стандартное отклонение (σ). Качественные показатели представлены как численность группы (n) и доля от группы (%).

Результаты

Большинство включенных в исследование пациентов были прооперированы в периоде новорожденности – 11 случаев, средний возраст составил $1,3 \pm 1,1$ месяца (95% ДИ 0,7–1,9). Чаще всего (у 8 пациентов) выполняли изолированную реконструкцию дуги аорты, в 5 случаях патология дуги аорты сочеталась с септальными дефектами, тогда реконструкция дуги аорты дополнялась суживанием легочной артерии. 1 пациенту выполнена операция Норвуда и еще 1 пациенту в возрасте 12 месяцев, ранее прооперированному по поводу синдрома гипоплазии левых отделов сердца, но имевшему выраженную деформацию неоаорты, выполняли сочетанную операцию Норвуда и операцию Гленна.

Сложность оперативного вмешательства по шкале Aristotle comprehensive score составила $10,6 \pm 2,6$ балла (95% ДИ 9,4–11,6).

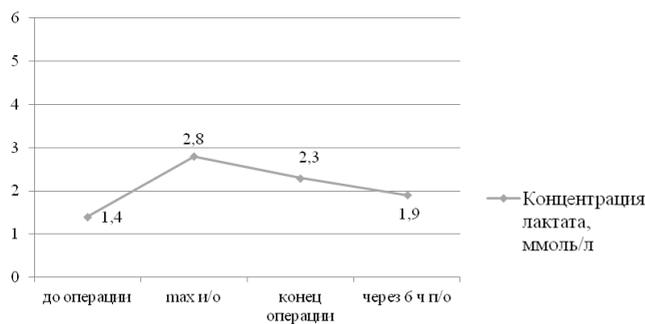


Рис. 3. Динамика изменения концентрации лактата до, во время и после операции (среднее значение): max – максимальное значение, u/o – интраоперационно, n/o – после операции

Fig. 3. Dynamics of changes in lactate concentration before, during and after surgery (average value): max – maximum value, u/o – intraoperatively, n/o – after surgery

Детальная клиничко-демографическая и анатомическая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Чаще всего операции выполняли на работающем сердце, средняя продолжительность ИК составила $87,3 \pm 24,6$ мин (95% ДИ 78,5–96,5). Остановка кровообращения необходима была лишь во время сочетанной операции Норвуда и Гленна (у пациента после ранее выполненной операции Норвуда наблюдалась рекоарктация неоарты) при расширении устьев стенозированных коронарных артерий. Время ишемии миокарда составило 135 мин. По окончании ИК в 6 случаях проведен сеанс модифицированной ультрафильтрации (МУФ) со средним объемом ультрафильтрата $145,8 \pm 46,2$ мл. Характеристика клиничко-лабораторных показателей интра- и раннего послеоперационного периода представлена в табл. 2.

Среднее значение показателя NIRS, измеряемое в 2 точках, ни на одном из этапов операции не опускалось ниже нормальных значений. Динамика изменения показателя NIRS представлена на рис. 2.

Максимальное среднее значение концентрации лактата во время операции составило $2,8 \pm 1,0$ ммоль/л, нормализация показателя отмечалась уже через 6 часов – $1,9 \pm 0,9$ ммоль/л. Динамика изменения концентрации лактата до, во время и после операции представлена на рис. 3.

Гидробаланс в первые послеоперационные сутки был умеренно положительным и составил $+29,3$ мл/кг.

Кардиотонические препараты применялись $138,5 \pm 53,5$ часов (95% ДИ 109,1–167,8), а средняя продолжительность ИВЛ составила $112,6 \pm 57,3$ часа (95% ДИ 81,0–114,1). Показатель фракции выброса по Симпсону до операции был $62,8 \pm 17,5\%$ (95% ДИ 53,1–72,5), после операции несколько ниже – $55,0 \pm 14,9$ (95% ДИ 46,7–63,2).

Показатели, оценивающие функцию почек – темп диуреза и уровень креатинина – не выходили за пределы нормальных значений. Динамика изменения концентрации креатинина и темпа диуреза до и после операции представлены на рис. 4.

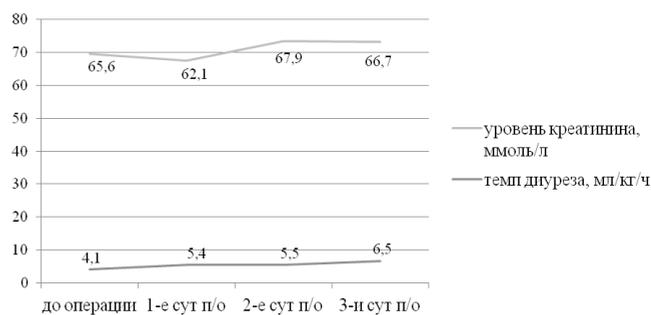


Рис. 4. Динамика изменения концентрации креатинина и темпа диуреза до и после операции (среднее значение): n/o – после операции

Fig. 4. Dynamics of changes in creatinine concentration and diuresis rate before and after surgery (average value): n/o – after surgery

Среднее время лечения в условиях ОРИТ составило $7,7 \pm 4,3$ суток (95% ДИ 4,5–10,9), в стационаре – $15,4 \pm 5,8$ суток (95% ДИ 11,4–19,4). Умерших среди прооперированных с применением новой перфузионной стратегии не было.

Обсуждение

Длительное время основной методикой перфузии при реконструкции дуги аорты у новорожденных и детей раннего возраста была гипотермическая остановка кровообращения с селективной антеградной церебральной перфузией [7]. Несмотря на улучшение послеоперационных результатов в целом, все еще остается высоким риск развития почечного повреждения, мезентериальной ишемии с последующим развитием гастроинтестинальной дисфункции, печеночной дисфункции [3, 4, 6]. Повреждающий характер имеет не только ишемия, но и реперфузия ишемизированных тканей [5, 17]. Развитие острой почечной недостаточности после реконструктивных операций на дуге аорты у детей значительно увеличивает длительность ИВЛ и сроки пребывания в ОРИТ [5]. Печеночная недостаточность встречается реже, однако также связана с ухудшением прогноза заболевания [16].

Для обеспечения кровотока во внутренних органах предпринимались попытки катетеризации нисходящей аорты, бедренной или пупочной артерий, и эти исследования показали улучшение результатов за счет сокращения сроков пребывания в ОРИТ, меньшей частоты развития почечной дисфункции [9, 15]. Канюляция нисходящей аорты, несомненно, является эффективным методом, однако сопровождается риском кровотечения или повреждения рядом расположенных органов [5]. Доступ через бедренную артерию представляется безопасным и позволяет избежать дополнительной линии в области хирургического вмешательства. Несмотря на то, что диаметр вводимого катетера ограничен размером бедренной артерии, обеспечиваемый поток (36 мл/мин для катетера 22G и 61 мл/мин для

катетера 20G) достаточен для защиты органов при использовании этой техники [8, 9, 13, 19]. После отключения ИК катетер в бедренной артерии использовался для мониторинга инвазивного АД в операционной и в последующем в ОРИТ, в течение всего времени использования катетера не было зафиксировано нарушений тканевой перфузии. Во время операции одновременный мониторинг инвазивного АД через бедренную артерию и артерию верхней конечности также позволяет оценить успешность выполненной реконструкции аорты. Кроме того, все 5 пациентов, которым выполняли реконструкцию дуги аорты и суживание легочной артерии в связи с большим дефектом межжелудочковой перегородки, через 4–7 месяцев были прооперированы повторно – снята манжета с легочной артерии и выполнена пластика септального дефекта. Рутинной практикой в нашем центре для оперируемых повторно пациентов является ультразвуковое исследование сосудов бедренно-подвздошного сегмента перед планируемой операцией. Ни у одного пациента не выявлено нарушений проходимости или стеноза бедренной артерии.

Как и наша работа, так и большинство опубликованных исследований, описывающих применение подобной стратегии перфузии у детей, носят экспериментальный характер и включают небольшое количество пациентов – от описания 1 клинического случая до 45 пациентов [5, 9, 10, 13, 14].

В исследовании Y. Y. Kulyabin et al. (2020), включающем наибольшее на данный момент количество наблюдений – 45 новорожденных, пациенты были разделены на 3 группы по 15 человек в зависимости от стратегии перфузии: глубокая гипотермическая остановка кровообращения, селективная антеградная перфузия головного мозга и двойная артериальная канюляция (стратегия STAR-perfusion). Было статистически подтверждено, что в группе двойной артериальной канюляции реже регистрировали церебральные осложнения ($p = 0,019$) и неблагоприятные события ($p = 0,041$). Следует отметить, что различий по частоте развития острого почечного повреждения при этом выявлено не было ($p = 0,64$) [9].

В работе R. S. Boburg et al. (2020) описано применение стратегии одновременной селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела у 19 детей раннего возраста. Авторы отмечают низкий уровень лактата во время ИК (среднее значение $2,15 \pm 1,04$ ммоль/л), а также отсутствие выраженных изменений уровня креатинина и печеночных ферментов по сравнению с дооперационными значениями, что демонстрирует эффективную органную перфузию [5]. В нашем исследовании

концентрация лактата к концу операции была несколько выше $2,8 \pm 1,1$ ммоль/л, нормализация показателя отмечалась через 6 часов после операции – $1,9 \pm 0,9$ ммоль/л. Концентрация креатинина, как и темп диуреза по полученным нами результатам, не претерпевала значительных колебаний по сравнению с дооперационными значениями, что также свидетельствовало об эффективности перфузии.

N. K. Prabhu et al. (2011) сравнили применение стратегии STAR-perfusion с умеренной гипотермией у 37 новорожденных с синдромом гипоплазии левых отделов сердца, которым выполняли операцию Норвуда с «классической» методикой только региональной церебральной перфузии. Пациенты группы STAR имели более низкий инотропный индекс при поступлении в ОРИТ ($p = 0,0007$), меньшие сроки до отсроченного ушивания грудной клетки ($p = 0,0004$), более низкую максимальную концентрацию лактата ($p = 0,03$). Госпитальная летальность в исследуемой группе была значительно ниже – 2,7% против 15,1% в группе контроля ($p = 0,06$) [18].

Наше исследование имеет ряд ограничений. В первую очередь, это небольшое количество пациентов, не позволяющее провести статистический анализ. Несмотря на имеющуюся возможность сравнения стратегии одновременной селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела с применяемой ранее методикой антеградной перфузии головного мозга с гипотермической остановкой кровообращения, мы не проводили статистического анализа, поэтому работа носит описательный характер. Опубликованы исследования, в которых статистический анализ проводили в группах по 5 и 9 человек, однако данные расчеты сложно считать статистически достоверными [13]. Кроме того, включенные в настоящее исследование пациенты имели как одножелудочковую, так и двухжелудочковую анатомию, где существенно отличаются как гемодинамика, так и объем и сложность хирургического вмешательства, поэтому они должны оцениваться по отдельности. Необходимы дальнейшие исследования в больших группах с возможностью дифференцированного анализа для пациентов с различными вариантами патологии дуги аорты.

Выводы

Применение стратегии одновременной селективной перфузии головного мозга, сердца и нижней части тела при реконструкции дуги аорты у детей раннего возраста безопасно и перспективно, поскольку позволяет избежать ишемии внутренних органов и снизить риски развития постишемических осложнений.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of Interests. The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Базылев В. В., Щеглова К. Т., Щеглов С. Е. и др. Некротический энтероколит после кардиохирургических операций у новорожденных: частота, факторы риска, исходы // Детские болезни сердца и сосудов. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 17–24. DOI: 10.24022/1810-0686-2021-18-1-17-24.
2. Наумов А. Б., Полушин Ю. С., Хубулава Г. Г. и др. Оценка нарушений системной перфузии у пациентов с единым желудочком сердца на основании параметров газового состава крови // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 6–16. DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-3-6-16.
3. Наумов А. Б., Хубулава Г. Г., Александрович Ю. С. и др. Влияние гипоксии на системную перфузию у пациентов с гемодинамикой единственного желудочка после хирургической коррекции // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 65–74. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-1-65-74.
4. Щеглов С. Е., Щеглова К. Т., Горностаев А. А. и др. Факторы риска острого почечного повреждения после операций по поводу патологии дуги аорты у новорожденных // Детские болезни сердца и сосудов. – 2019. – Т. 16, № 1. – С. 35–42. DOI: 10.24022/1810-0686-2019-16-1-35-42.
5. Boburg R. S., Rosenberger P., Kling S. et al. Selective lower body perfusion during aortic arch surgery in neonates and small children // *Perfusion*. – 2020. – Vol. 35. – P. 621–625. DOI: 10.1177/0267659119896890.
6. Gumbert S. D., Kork F., Jackson M. L. et al. Perioperative acute kidney injury // *Anesthesiology*. – 2020. – Vol. 132. – P. 180–204. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002968.
7. Hornik C. P. Commentary: perfusion strategies for neonatal aortic arch repair, future strategies, and research opportunities // *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* – 2020. – Vol. 32, № 4. – P. 874–875. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2020.06.006.
8. Karavas A. N., Deschner B. W., Scott J. W. Three-region perfusion strategy for aortic arch reconstruction in the Norwood // *Ann Thorac Surg.* – 2011. – Vol. 92, № 3. – P. 1138–1140. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2011.03.122.
9. Kulyabin Y. Y., Bogachev-Prokophiev A. V., Soynov I. A. et al. Assessment of perfusion techniques during surgical repair of coarctation of aorta with aortic arch hypoplasia in neonates: a pilot prospective randomized study // *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* – 2020. – Vol. 32, № 4. – P. 860–871. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2020.04.015.
10. Liebrich M., Schweder M., Seeburger J. et al. Triple-arterial cannulation approach for whole-body perfusion in infant hypoplastic aortic arch and coarctation repair // *Thorac Cardiovasc Surg Rep.* – 2022. – Vol. 11, № 1. – P. e47–e49. DOI: 10.1055/s-0042-1750428.
11. Liu Y., Jiang H., Wang B. et al. Efficacy of pump-controlled selective antegrade cerebral perfusion in total arch replacement: A propensity-matched analysis // *Front Surg.* – 2022. – Vol. 9. – P. 918461. DOI: 10.3389/fsurg.2022.918461.
12. Lodge A. J., Andersen N. D., Turek J. W. Recent advances in congenital heart surgery: alternative perfusion strategies for infant aortic arch repair // *Curr Cardiol Rep.* – 2019. – Vol. 21, № 3. – P. 13. DOI: 10.1007/s11886-019-1098-8.
13. Magunia H., Nester J., Sandoval Boburg R. et al. Abdominal and peripheral tissue oxygen supply during selective lower body perfusion for the surgical repair of congenital heart disease: a pilot study // *J Cardiovasc Dev Dis.* – 2022. – Vol. 9, № 12. – P. 436. DOI: 10.3390/jcdd9120436.
14. Maier S., Kari F., Rylski B. et al. selective heart, brain and body perfusion in open aortic arch replacement // *The Journal of extra-corporeal technology.* – 2016. – Vol. 48. – P. 122–128. DOI: 10.1051/ject/201648122.
15. Neunhoeffer F., Sandner K., Wiest M. et al. Non-invasive assessment of cerebral oxygen metabolism following surgery of congenital heart disease // *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* – 2017. – Vol. 25. – P. 96–102. DOI: 10.1093/icvts/ivx080.
16. Pasternack D. M., AlQahtani M., Zonana Amkie R. et al. Risk factors and outcomes for hyperbilirubinaemia after heart surgery in children // *Cardiol. Young.* – 2020. – Vol. 30. – P. 761–768. DOI: 10.1017/S1047951120000967.
17. Pigula F. A., Gandhi S. K., Siewers R. D. et al. Regional low-flow perfusion provides somatic circulatory support during neonatal aortic arch surgery // *Ann. Thorac. Surg.* – 2001. – Vol. 72. – P. 401–406. DOI: 10.1016/S0003-4975(01)02727-8.
18. Prabhu N. K., Turek J. W., Andersen N. D. Sustained total all-region (STAR) perfusion for Norwood reconstruction with complex intracardiac repair // *Perfusion.* – 2021. – Vol. 36, № 5. – P. 532–534. DOI: 10.1177/0267659120954382.
19. Tan Recep B. Z., Tongut A., Hatemi A. C. et al. Evaluation of postoperative renal functions and its effect on body perfusion in patients with double aortic cannulation // *Cardiol Young.* – 2023. – Vol. 33, № 5. – P. 733–740. DOI: 10.1017/S1047951122001627.
1. Bazylev V.V., Shcheglova K.T., Shcheglov S.E. et al. Necrotic enterocolitis after cardiac surgery in newborns: frequency, risk factors, outcomes. *Children's diseases of the heart and blood vessels*, 2021, vol. 18, no.1, pp. 17–24. (In Russ.) DOI: 10.24022/1810-0686-2021-18-1-17-24.
2. Naumov A.B., Polushin Yu.S., Khubulava G.G. et al. Systemic perfusion assessment in patients with univentricular hemodynamics based on blood gas parameters. *Messenger of anesthesiology and resuscitation*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 6–16. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-3-6-16.
3. Naumov A.B., Khubulava G.G., Aleksandrovich Yu.S. et al. The effect of hypoxaemia on systemic perfusion in patients with single ventricle after surgery. *Messenger of anesthesiology and resuscitation*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 65–74. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-1-65-74.
4. Shcheglov S.E., Shcheglova K.T., Gornostaev A.A. et al. Risk factors for acute kidney injury after surgery for the pathology of the aortic arch in neonates. *Children's Heart and Vascular Diseases*, 2019, vol. 16, no. 1, pp. 35–42. (In Russ.) DOI: 10.24022/1810-0686-2019-16-1-35-42.
5. Boburg R.S., Rosenberger P., Kling S. et al. Selective lower body perfusion during aortic arch surgery in neonates and small children. *Perfusion*, 2020, vol. 35, pp. 621–625. DOI: 10.1177/0267659119896890.
6. Gumbert S.D., Kork F., Jackson M.L. et al. Perioperative acute kidney injury. *Anesthesiology*, 2020, vol. 132, pp. 180–204. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002968.
7. Hornik C.P. Commentary: perfusion strategies for neonatal aortic arch repair, future strategies, and research opportunities. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, vol. 32, no. 4, pp. 874–875. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2020.06.006.
8. Karavas A.N., Deschner B.W., Scott J.W. Three-region perfusion strategy for aortic arch reconstruction in the Norwood. *Ann Thorac Surg.*, 2011, vol. 92, no. 3, pp. 1138–1140. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2011.03.122.
9. Kulyabin Y.Y., Bogachev-Prokophiev A.V., Soynov I.A. et al. Assessment of perfusion techniques during surgical repair of coarctation of aorta with aortic arch hypoplasia in neonates: a pilot prospective randomized study. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, vol. 32, no. 4, pp. 860–871. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2020.04.015.
10. Liebrich M., Schweder M., Seeburger J. et al. Triple-arterial cannulation approach for whole-body perfusion in infant hypoplastic aortic arch and coarctation repair. *Thorac Cardiovasc Surg Rep*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. e47–e49. DOI: 10.1055/s-0042-1750428.
11. Liu Y., Jiang H., Wang B. et al. Efficacy of pump-controlled selective antegrade cerebral perfusion in total arch replacement: A propensity-matched analysis. *Front Surg*, 2022, vol. 9, pp. 918461. DOI: 10.3389/fsurg.2022.918461.
12. Lodge A.J., Andersen N.D., Turek J.W. Recent advances in congenital heart surgery: alternative perfusion strategies for infant aortic arch repair. *Curr Cardiol Rep*, 2019, vol. 21, no. 3, pp. 13. DOI: 10.1007/s11886-019-1098-8.
13. Magunia H., Nester J., Sandoval Boburg R. et al. Abdominal and peripheral tissue oxygen supply during selective lower body perfusion for the surgical repair of congenital heart disease: a pilot study. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2022, vol. 9, no. 12, pp. 436. DOI: 10.3390/jcdd9120436.
14. Maier S., Kari F., Rylski B. et al. selective heart, brain and body perfusion in open aortic arch replacement. *The Journal of extra-corporeal technology*, 2016, vol. 48, pp. 122–128. DOI: 10.1051/ject/201648122.
15. Neunhoeffer F., Sandner K., Wiest M. et al. Non-invasive assessment of cerebral oxygen metabolism following surgery of congenital heart disease. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.*, 2017, vol. 25, pp. 96–102. DOI: 10.1093/icvts/ivx080.
16. Pasternack D.M., AlQahtani M., Zonana Amkie R. et al. Risk factors and outcomes for hyperbilirubinaemia after heart surgery in children. *Cardiol. Young*, 2020, vol. 30, pp. 761–768. DOI: 10.1017/S1047951120000967.
17. Pigula F.A., Gandhi S.K., Siewers R.D. et al. Regional low-flow perfusion provides somatic circulatory support during neonatal aortic arch surgery. *Ann. Thorac. Surg*, 2001, vol. 72, pp. 401–406. DOI: 10.1016/S0003-4975(01)02727-8.
18. Prabhu N.K., Turek J.W., Andersen N.D. Sustained total all-region (STAR) perfusion for Norwood reconstruction with complex intracardiac repair. *Perfusion*, 2021, vol. 36, no. 5, pp. 532–534. DOI: 10.1177/0267659120954382.
19. Tan Recep B.Z., Tongut A., Hatemi A.C. et al. Evaluation of postoperative renal functions and its effect on body perfusion in patients with double aortic cannulation. *Cardiol Young*, 2023, vol. 33, no. 5, pp. 733–740. DOI: 10.1017/S1047951122001627.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» МЗ РФ,
Пенза, 440071, Россия, г. Пенза, ул. Стасова, д. 6

Базылев Владлен Владленович

д-р мед. наук, профессор, главный врач.
E-mail: klara-penza@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6089-9722,
SPIN: 3153-8025, Author ID: 154696

Щеглова Клара Тамирановна

врач-анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации
и интенсивной терапии.
E-mail: klara-tamir@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8468-4806,
SPIN: 5450-6674, Author ID: 842893

Артемьев Николай Николаевич

врач-анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации
и интенсивной терапии.
E-mail: nikardo@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4979-5388,
SPIN: 9019-8498, Author ID: 842147

Магилевец Антон Игоревич

зав. отделением реанимации и интенсивной терапии.
E-mail: citadel1943@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-0586-5671,
SPIN: 8965-1264, Author ID: 842199

Шихранов Алексей Александрович

канд. мед. наук, зав. кардиохирургическим отделением № 4.
E-mail: cardiomd@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9971-3390,
SPIN: 4338-4382, Author ID: 842577

Кокашкин Михаил Викторович

врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии
и реанимации.
E-mail: kokashkinmv@gmail.com, ORCID: 000-0001-9330-4940,
SPIN: 947-1524, Author ID: 842528

Макогончук Надежда Евгеньевна

врач-анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации
и интенсивной терапии.
E-mail: dimetra5500@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9721-2485,
SPIN: 5127-6338, Author ID: 842675

Бофанов Дмитрий Алексеевич

канд. мед. наук, врач сердечно-сосудистой хирург кардио-
хирургического отделения № 4.
E-mail: dab83@list.ru, ORCID: 0000-0003-0492-8845,
SPIN: 1137-6940, Author ID: 842632

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Federal Center of cardiovascular surgery,
6, Stasova str., Penza, 440071, Russia

Bazylev Vladlen V.

Dr. of Sci. (Med.), Professor, Chief Physician.
E-mail: cardio-penza@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6089-9722,
SPIN: 3153-8025, AuthorID: 154696

Shcheglova Klara T.

Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesio-
logy and Intensive Care.
E-mail: klara-tamir@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8468-4806,
SPIN: 5450-6674, Author ID: 842893

Artemyev Nikolay N.

Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesio-
logy and Intensive Care.
E-mail: nikardo@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4979-5388,
SPIN: 9019-8498, Author ID: 842147

Magilevets Anton I.

Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care.
E-mail: citadel1943@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-0586-5671,
SPIN: 8965-1264, Author ID: 842199

Shikhranov Alexey A.

Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Cardio-
vascular Surgery № 4.
E-mail: cardiomd@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9971-3390,
SPIN: 4338-4382, Author ID: 842577

Kokashkin Mikhail V.

Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesio-
logy and Intensive Care.
E-mail: kokashkinmv@gmail.com, ORCID: 000-0001-9330-4940,
SPIN: 947-1524, Author ID: 842528

Makogonchuk Nadezhda E.

Anesthesiologist-Intensivist of the Department of Anesthesio-
logy and Intensive Care.
E-mail: dimetra5500@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9721-2485,
SPIN: 5127-6338, Author ID: 842675

Bofanov Dmitry A.

Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon
of the Department of Cardiovascular surgery № 4.
E-mail: dab83@list.ru, ORCID: 0000-0003-0492-8845,
SPIN: 1137-6940, Author ID: 842632