

Острое повреждение почек и факторы риска течения послеоперационного периода у детей первого года жизни после коррекции коарктации аорты в условиях нормотермии: одноцентровое ретроспективное исследование с псевдорандомизацией

С.А. Сергеев¹, В.Я. Мартыненко¹, В.А. Непомнящих¹, С.В. Астраков², К.В. Бударова³, Д.Ю. Аникин¹, Е.А. Никитина¹

Для корреспонденции: Станислав Александрович Сергеев, faustas@mail.ru

Поступила в редакцию 17 января 2025 г.
Исправлена 27 февраля 2025 г. Принята к печати 1 апреля 2025 г.

Цитировать: Сергеев С.А., Мартыненко В.Я., Непомнящих В.А., Астраков С.В., Бударова К.В., Аникин Д.Ю., Никитина Е.А. Острое повреждение почек и факторы риска течения послеоперационного периода у детей первого года жизни после коррекции коарктации аорты в условиях нормотермии: одноцентровое ретроспективное исследование с псевдорандомизацией. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2025;29(4):100-111. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-4-100-111>

Финансирование
Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов
Концепция и дизайн работы: С.А. Сергеев, К.В. Бударова
Сбор и анализ данных: С.А. Сергеев, Д.Ю. Аникин, Е.А. Никитина
Статистическая обработка данных: С.А. Сергеев
Написание статьи: С.А. Сергеев, Д.Ю. Аникин, Е.А. Никитина
Исправление статьи: С.В. Астраков, К.В. Бударова, В.Я. Мартыненко, В.А. Непомнящих
Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

ORCID
С.А. Сергеев, <https://orcid.org/0000-0001-8166-9424>
В.Я. Мартыненко, <https://orcid.org/0009-0004-5627-9087>
В.А. Непомнящих, <https://orcid.org/0009-0008-6140-8663>
С.В. Астраков, <https://orcid.org/0000-0001-5251-5362>
К.В. Бударова, <https://orcid.org/0000-0002-9265-978X>
Д.Ю. Аникин, <https://orcid.org/0009-0003-3256-7466>
Е.А. Никитина, <https://orcid.org/0009-0005-7036-367X>

© Сергеев С.А., Мартыненко В.Я., Непомнящих В.А., Астраков С.В., Бударова К.В., Аникин Д.Ю., Никитина Е.А., 2025

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Российская Федерация

³ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Кардиохирургически-ассоциированное острое повреждение почек (КХ-ОПП) у детей с врожденными пороками сердца (ВПС) остается одной из ключевых проблем современной кардиоанестезиологии. Большинство работ по изучению данного осложнения посвящено пациентам, у которых при коррекции ВПС используют методику искусственного кровообращения. Использование искусственного кровообращения при коррекции ВПС и его продолжительность являются одними из наиболее значимых и весомых факторов развития кардиохирургически-ассоциированного острого повреждения почек.

Цель. Оценить распространенность кардиохирургически-ассоциированного острого повреждения почек с использованием двух шкал – rRIFLE и KDIGO у пациентов с коарктацией аорты после резекции суженного участка аорты в условиях нормотермии, выявить возможные предикторы КХ-ОПП и определить факторы риска, влияющие на течение раннего и ближайшего послеоперационного периода.

Методы. Одноцентровое ретроспективное исследование с псевдорандомизацией, в которое включено 80 пациентов с коарктацией аорты возрастом до 1 года, оперированных в условиях нормотермии.

Результаты. Распространенность острого повреждения почек по шкалам rRIFLE и KDIGO составила 48,8 и 35 % соответственно. При сравнении сопоставленных групп пациентов с КХ-ОПП и без КХ-ОПП первые имеют более длительное время пребывания в послеоперационной палате и большую длительность искусственной вентиляции легких ($p < 0,001$). При увеличении возраста пациентов увеличиваются время пребывания в палате реанимации и время искусственной вентиляции легких. При увеличении индивидуального операционного риска летальности с 1 до 2 и 3 увеличивается время пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) на 8,2 и 11 дней соответственно ($p = 0,004$). Пациенты, получающие инфузию простагландинов в предоперационном периоде, имеют на 1,6 мл/(кг·ч) более высокий темп диуреза в первые послеоперационные сутки.

Заключение. Несмотря на значительный прогресс в изучении острого повреждения почек у пациентов детского возраста после кардиохирургических вмешательств, остается ряд нерешенных проблем, что требует продолжения изучения данного вопроса и дальнейшего внимания специалистов по врожденным порокам сердца.

Ключевые слова: острое повреждение почек у детей; коарктация аорты; врожденный порок сердца; факторы риска



Acute kidney injury and risk factors after coarctation of the aorta repair without cardiopulmonary bypass in children first year of life: one-single center, propensity score matching analysis

Stanislav A. Sergeev¹, Victor Y. Martynenkov¹, Valery A. Nepomnyaschikh¹, Sergey V. Astrakov², Kristina V. Budarova³, Denis Y. Anikin¹, Elena A. Nikitina¹

Corresponding author: Stanislav A. Sergeev, faustas@mail.ru

Received 17 January 2025. Revised 27 February 2025.

Accepted 1 April 2025.

How to cite: Sergeev S.A., Martynenkov V.Y., Nepomnyaschikh V.A., Astrakov S.V., Budarova K.V., Anikin D.Y., Nikitina E.A. Acute kidney injury and risk factors after coarctation of the aorta repair without cardiopulmonary bypass in children first year of life: one-single center, propensity score matching analysis. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2025;29(4):100-111. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-4-100-111>

Funding

The study did not have sponsorship.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Contribution of the authors

Conception and study design: S.A. Sergeev, K.V. Budarova

Data collection and analysis: S.A. Sergeev, D.Y. Anikin, E.A. Nikitina

Statistical analysis: S.A. Sergeev

Drafting the article: S.A. Sergeev, D.Y. Anikin, E.A. Nikitina

Critical revision of the article: S.V. Astrakov, K.V. Budarova

Final approval of the version to be published:

S.A. Sergeev, V.Y. Martynenkov, V.A. Nepomnyaschikh,

K.V. Budarova, S.V. Astrakov, D.Y. Anikin, E.A. Nikitina

ORCID

S.A. Sergeev, <https://orcid.org/0000-0001-8166-9424>

V.Y. Martynenkov, <https://orcid.org/0009-0004-5627-9087>

V.A. Nepomnyaschikh, <https://orcid.org/0009-0008-6140-8663>

S.V. Astrakov, <https://orcid.org/0000-0001-5251-5362>

K.V. Budarova, <https://orcid.org/0000-0002-9265-978X>

D.Y. Anikin, <https://orcid.org/0009-0003-3256-7466>

E.A. Nikitina, <https://orcid.org/0009-0005-7036-367X>

© 2025 Sergeev et al.



¹ Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

Background: Cardiac surgery-associated acute kidney injury (CSA-AKI) in children with congenital heart defects (CHD) remains one of the key challenges in pediatric cardiac surgery. Most studies examining this complication focus on patients undergoing cardiopulmonary bypass for CHD correction. Cardiopulmonary bypass and its duration are the most significant factors in the development of CSA-AKI.

Objective: The study aimed to assess the incidence of CSA-AKI using pRIFLE and KDIGO criteria in patients after coarctation repair without cardiopulmonary bypass, as well as to identify possible predictors of CSA-AKI and determine risk factors after surgery.

Methods: One-single center, retrospective, propensity score matching analysis included 80 patients aged up to 1 year with coarctation of the aorta after cardiac surgery without cardiopulmonary bypass.

Results: The incidence of acute kidney injury according to the pRIFLE and KDIGO criteria was 48.8 % and 35 %, respectively. Matched group of patients with CSA-AKI had longer duration of mechanical ventilation and day stay in intensive care unit after surgery ($p < 0.001$). With increasing patient age, the length of stay in the intensive care unit and the duration of mechanical ventilation went up. With an increase of RACHS-1 score from 1 to 2 and 3, the duration of stay in the intensive care unit augmented by 8.2 and 11 days, respectively ($p = 0.004$). Patients with prostaglandin infusions before surgery had a 1.6 ml/kg/hour more urine output in the first postoperative day.

Conclusion: Despite significant progress in the investigation of acute kidney injury in pediatric patients after cardiac surgery, many unresolved issues remain requiring further study to fully unravel the complexities of AKI diagnosis and treatment in the pediatric population undergoing cardiac surgery.

Keywords: acute kidney injury in children; coarctation of the aorta; congenital heart disease; risk factors

Введение

Острое повреждение почек (ОПП) после коррекции врожденных пороков сердца является частым осложнением [1], связанным с высоким риском летальности, необходимостью продленной искусственной вентиляции легких (ИВЛ), проведения заместительной почечной терапии, что в итоге увеличивает время пребывания пациентов в палате реанимации и длительность госпитализации [2; 3].

Механизм развития ОПП после кардиохирургических операций является многофакторным и включает изменения почечного кровотока, ишемию, воспаление, гемолиз и т.д. [4]. В подавляющем большинстве исследований искусственное кровообращение и его длительность при коррекции врожденного порока сердца (ВПС) являются независимыми факторами, приводящими к развитию ОПП, механизмы которых остаются не до конца изученными [5].

Сложные врожденные пороки развития аорты, такие как коарктация или гипоплазия дуги аорты, требуют ранней хирургической коррекции [6]. С момента рождения у пациентов с данной патологией почечная ткань находится в состоянии пониженной перфузии и подвергается дополнительной ишемии при выполнении наложения анастомоза при хирургической коррекции [7]. В настоящее время известны факторы риска ОПП после кардиохирургических вмешательств, они включают более ранний возраст, сложность ВПС, длительность искусственного кровообращения и окклюзии аорты, а также исходно низкий уровень гемоглобина [8]. Другими возможными факторами являются предоперационное количество тромбоцитов, количество выделенной мочи, использование нефротоксичных препаратов и уровень альбумина [9–11]. Среди взрослых пациентов низкий предоперационный уровень альбумина является независимым предиктором острого повреждения почек после кардиохирургических вмешательств [10].

Использование инфузии простагландинов, часто необходимое для поддержания кровотока в нижней половине тела у пациентов с коарктацией или гипоплазией дуги аорты, может приводить к развитию поздней ОПП [12]. Нефропатия, вызванная введением иодсодержащего контрастного вещества, считается основным фактором в развитии ОПП, связанного с необходимостью в проведении заместительной почечной терапии [13], и встречается среди пациентов детского возраста с распространенностью до 10% [14; 15].

Цель исследования – оценить распространенность острого повреждения почек по шкалам rRIFLE и KDIGO, выявить предикторы ОПП, дать сравнительную оценку течения раннего и ближайшего послеопе-

рационного периода у пациентов с коарктацией аорты после резекции суженного участка в условиях нормотермии и определить возможные факторы риска, влияющие на их течение.

Методы

В одноцентровое ретроспективное исследование было включено 80 пациентов с коарктацией аорты в возрасте до 1 года, оперированных в условиях нормотермии в кардиохирургическом отделении врожденных пороков сердца ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (Новосибирск) с января 2021 г. по сентябрь 2024 г. Исследование выполнено в соответствии с действующими нормами и правилами проведения клинических исследований, в том числе действующей редакцией (2013) Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России (протокол № 1 от 31 января 2025 г.).

Диагноз ОПП по шкале rRIFLE [16] устанавливали в соответствии с изменением скорости клубочковой фильтрации, измеренной по модифицированной формуле Шварца. В соответствии с критериями KDIGO [17] диагноз острого повреждения почек устанавливали в зависимости от изменения уровня креатинина. Темп диуреза при использовании вышеперечисленных шкал не учитывали в связи с инфузией лазикса у всех пациентов в послеоперационном периоде со скоростью от 0,05 до 0,50 мг/(кг·ч).

Вазоактивный инотропный показатель (Vasoactive Inotropic Score, VIS) рассчитывался по формуле [18]:
$$VIS = \text{инотропный индекс (допамин (мкг/(кг·мин)) + добутамин (мкг/(кг·мин)) + 100 \times \text{эпинефрин (мкг/(кг·мин))} + 10 \times \text{милринон (мкг/(кг·мин))} + 10\,000 \times \text{вазопрессин (Ед/(кг·мин))} + 100 \times \text{норэпинефрин (мкг/(кг·мин))}.$$

Анестезиологическое обеспечение операций проводили согласно принятым в НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина протоколам.

В соответствии с индивидуальным операционным риском летальности RACHS-1 [19] пациенты были разделены на три группы.

Статистический анализ

Проверку гипотезы о нормальности распределения проводили с помощью критерия Шапиро – Уилка. Поскольку всего четыре переменных были определены как нормальные, все непрерывные переменные представлены как медиана (Me) с межквартильным

Табл. 1. Базовые, демографические, предоперационные и интраоперационные характеристики пациентов

Характеристика	Значение
Возраст, дни	14,0 [6,75 – 39,25]
Вес, кг	3,28 [2,7 – 3,92]
Рост, см	51 [48,75 – 53]
Пол, мужской, <i>n</i> (%)	54 (67,5)
Цианоз, <i>n</i> (%)	4 (5)
Синдром Дауна, <i>n</i> (%)	3 (4,4)
Инфузия простагландинов, <i>n</i> (%)	36 (45)
Кардиотоники, <i>n</i> (%)	8 (10)
ИВЛ до операции, <i>n</i> (%)	11 (13,8)
Недоношенность, <i>n</i> (%)	12 (15)
Томография, <i>n</i> (%)	65 (81,2)
ЧВЗ до операции, <i>n</i> (%)	1 (1,2)
Повторное вмешательство, <i>n</i> (%)	1 (1,2)
Время пережатия аорты, мин	17 [13 – 22]
RACHS-1, <i>n</i> (%)	
1	25 (31,2)
2	47 (58,8)
3	8 (10)
Радикальная коррекция, <i>n</i> (%)	65 (81,2)

Примечание. ИВЛ – искусственная вентиляция легких; ЧВЗ – чрезвенозное зондирование; RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности. Данные представлены как *n* (%) или как Ме [Q1 – Q3].

размахом (IQR). Качественные переменные представлены в виде чисел и процентов *n* (%).

Таким образом, при сравнении двух независимых групп использовали критерий Манна – Уитни, для сравнения долей – χ^2 -критерий Пирсона с поправкой Йейтса. Для выявления факторов риска развития КХ-ОПП в сопоставленных группах использовали методы логистической регрессии с объясняющими переменными: возраст, вес, время пережатия аорты, использование кардиотонической или вентиляционной поддержки до оперативного вмешательства, индивидуальный операционный риск летальности, инфузию вазопростана и применение томографических методов исследования за 72 ч до операции. Для оценки влияния исходных показателей на течение послеоперационного периода применяли методы линейного регрессионного анализа с объясняющими переменными: возраст, вес, время пережатия аорты, кардиотоническая или вентиляционная поддержка до операции, индивидуальный операционный риск летальности, инфузия вазопростана, проведение томографических методов исследования за 72 ч до

оперативного вмешательства, исходные значения уровней альбумина и общего белка. Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Для обеспечения максимальной сопоставимости групп с КХ-ОПП и без КХ-ОПП и минимизации систематических ошибок применяли метод псевдорандомизации. Вероятность лечения (propensity score) оценивали с помощью логистической регрессии с такими объясняющими переменными, как возраст, вес, рост, инфузия вазопростана до оперативного вмешательства, недоношенность, проведение томографических методов исследования, повторное вмешательство, индивидуальный операционный риск летальности, половая принадлежность, время пережатия аорты, кардиотоническая и вазопрессорная терапия до операции, наличие ИВЛ до операции, наличие синдрома Дауна, цианотический ВПС и тип оперативного вмешательства. Произвели сопоставление 1:1 методом поиска ближайшего соседа без возвращения с ограничением внутривидового расстояния (caliper) 0,2. Абсолютная стандартизованная разность вычислялась как абсолютная стандартизованная разность средних для непрерывных переменных и как абсолютная разность пропорций для бинарных переменных.

Для проведения статистического анализа использовали библиотеки среды R.

Результаты

Исходные характеристики пациентов

В исследование были включены 80 пациентов до 1 года с коарктацией аорты, которые поступали в послеоперационную палату после выполнения оперативного вмешательства. Базовые, демографические, предоперационные и интраоперационные характеристики представлены в табл. 1.

Индивидуальный операционный риск летальности среди исследуемых пациентов представлен тремя группами (1–3). К первой группе относятся пациенты старше 30 дней, ко второй – младше 30 дней. Пациенты третьей группы помимо коарктации аорты имели сопутствующие сердечные аномалии, такие как атриовентрикулярная коммуникация, корригированная транспозиция магистральных артерий, дефект межжелудочковой перегородки и др. Большинство пациентов (81,2 %) выполнялась радикальная хирургическая коррекция. Паллиативная коррекция, помимо резекции суженного участка аорты, выполнялась в объеме суживания легочной артерии.

Табл. 2. Данные пациентов с ОПП по шкале pRIFLE до и после сопоставления

Характеристика	Несопоставленная когорта			Сопоставленная когорта		
	Без КХ-ОПП, n = 41 (100 %)	С КХ-ОПП, n = 39 (100 %)	АСР	Без КХ-ОПП, n = 39 (100 %)	С КХ-ОПП, n = 39 (100 %)	АСР
Возраст, дни	9 [5–42]	14 [7–37]	0,512	9 [5–37]	14 [7–37]	0,248
Вес, кг	3,36 [2,7–4,2]	3,25 [2,70–3,74]	0,375	3,33 [2,65–4,20]	3,25 [2,70–3,74]	0,238
Рост, см	51 [50–55]	50 [47,5–52,0]	0,622	51 [49,8–54,0]	50 [47,5–52,0]	0,411
Пол (мужской), n (%)	29 (70,7)	25 (64,1)	0,138	27 (69,2)	25 (64,1)	0,106
Инфузия вазопростана, n (%)	16 (39)	20 (51,3)	0,245	16 (41)	20 (51,3)	0,205
Томография за 72 ч до операции, n (%)	31 (75,6)	34 (87,2)	0,346	30 (76,9)	34 (87,2)	0,306
Недоношенность, n (%)	4 (9,8)	8 (20,5)	0,266	3 (7,7)	8 (20,5)	0,317
Повторное вмешательство, n (%)	1 (2,4)	0 (0)	0,220	0 (0)	0 (0)	0,000
RACHS-1, n (%)	1	14 (34,1)	0,132	12 (30,8)	11 (28,2)	0,057
	2	24 (58,5)	0,008	24 (61,5)	23 (59)	0,052
	3	3 (7,3)	0,164	3 (7,7)	5 (12,8)	0,153
Время пережатия аорты, мин	17 [13–21]	17 [13,5–23,0]	0,047	17 [13,5–21,0]	17 [13,5–23,0]	0,077
ИВЛ до операции, n (%)	5 (12,2)	6 (15,4)	0,088	5 (12,8)	6 (15,4)	0,071
Кардиотоники до операции, n (%)	5 (12,2)	3 (7,7)	0,169	4 (10,3)	3 (7,7)	0,096
Синдром Дауна, n (%)	2 (4,9)	1 (2,6)	0,146	2 (5,1)	1 (2,6)	0,162
Цианоз, n (%)	2 (4,9)	2 (5,1)	0,011	2 (5,1)	2 (5,1)	0,000
Радикальная коррекция, n (%)	34 (82,9)	31 (79,5)	0,085	32 (82,1)	31 (79,5)	0,063

Примечание. АСР – абсолютная стандартизованная разность; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; КХ-ОПП – кардиохирургически-ассоциированное острое повреждение почек; ОПП – острое повреждение почек; RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности. Данные представлены как n (%) или как Me [Q1 – Q3].

Численность групп после сопоставления составила 39 для pRIFLE и 28 для KDIGO.

У 39 (48,8 %) пациентов диагностировано КХ-ОПП по шкале pRIFLE в зависимости от изменения скорости клубочковой фильтрации. Характеристики пациентов с КХ-ОПП по шкале pRIFLE представлены в табл. 2.

У 28 пациентов (35 %) диагностировано КХ-ОПП по шкале KDIGO в зависимости от динамики уровня креатинина в послеоперационном периоде. Характеристики пациентов с КХ-ОПП по шкале KDIGO представлены в табл. 3.

Данные абсолютной стандартизованной разницы ковариат для шкал pRIFLE и KDIGO представлены на рис. 1.

Базовые, интраоперационные и послеоперационные характеристики

При сравнении исходных характеристик пациентов статистически значимых межгрупповых различий в возрасте пациентов на момент операции, весе, инфузии вазопростана, наличии вентиляционной или кардиотонической поддержки до оперативного вмешательства и повторной операции в группах с КХ-ОПП и без КХ-ОПП получено не было. Время пережатия аорты также не различалось. Вазоактивный инотропный показатель у пациентов с КХ-ОПП в группе pRIFLE статистически значимо был больше в сравнении с группой без КХ-ОПП. В группе KDIGO таких различий не было. Количество дней в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) после оперативного

Табл. 3. Данные пациентов с ОПП по шкале KDIGO до и после сопоставления

Характеристика	Несопоставленная когорта			Сопоставленная когорта		
	Без КХ-ОПП, n = 52 (100 %)	С КХ-ОПП, n = 28 (100 %)	АСР	Без КХ-ОПП, n = 28 (100 %)	С КХ-ОПП, n = 28 (100 %)	АСР
Возраст, дни	9,5 [5,75–35,50]	17,5 [7,0–41,5]	0,165	9,5 [5,75–35,50]	17,5 [7,0–41,5]	0,117
Вес, кг	3,32 [2,8–4,05]	3,26 [2,6–3,8]	0,271	3,15 [2,56–4,05]	3,26 [2,6–3,8]	0,171
Рост, см	51 [50–54]	50 [47–52]	0,557	51 [48,5–54,2]	50 [47–52]	0,300
Пол (мужской), n (%)	34 (65,4)	20 (71,4)	0,133	18 (64,3)	20 (71,4)	0,158
Инфузия вазопростана, n (%)	24 (46,2)	12 (42,9)	0,066	15 (53,6)	12 (42,9)	0,216
Томография за 72 ч до операции, n (%)	39 (75)	26 (92,9)	0,693	25 (89,3)	26 (92,9)	0,138
Недоношенность, n (%)	5 (9,6)	7 (25)	0,355	3 (10,7)	7 (25)	0,329
Повторное вмешательство, n (%)	1 (1,9)	0 (0)	0,173	0 (0)	0 (0)	0,000
RACHS-1, n (%)	1	15 (28,8)	0,143	8 (28,6)	10 (35,7)	0,149
	2	33 (63,5)	0,269	17 (60,7)	14 (50)	0,214
	3	4 (7,7)	0,188	3 (10,7)	4 (14,3)	0,102
Время пережатия аорты, мин	17 [13,0–21,2]	17,5 [14–23]	0,177	18,5 [15,0–22,2]	17,5 [14–23]	0,024
ИВЛ до операции, n (%)	8 (15,4)	3 (10,7)	0,151	4 (14,3)	3 (10,7)	0,115
Кардиотоники до операции, n (%)	6 (11,5)	2 (7,1)	0,170	2 (7,1)	2 (7,1)	0,000
Синдром Дауна, n (%)	3 (5,8)	0 (0)	0,306	0 (0)	0 (0)	0,000
Цианоз, n (%)	2 (3,8)	2 (7,1)	0,128	2 (7,1)	2 (7,1)	0,000
Радикальная коррекция, n (%)	44 (84,6)	21 (75)	0,222	24 (85,7)	21 (75)	0,247

Примечание. АСР – абсолютная стандартизованная разность; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; КХ-ОПП – кардиохирургически-ассоциированное острое повреждение почек; ОПП – острое повреждение почек; RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности. Данные представлены как n (%) и как Me [Q1 – Q3].

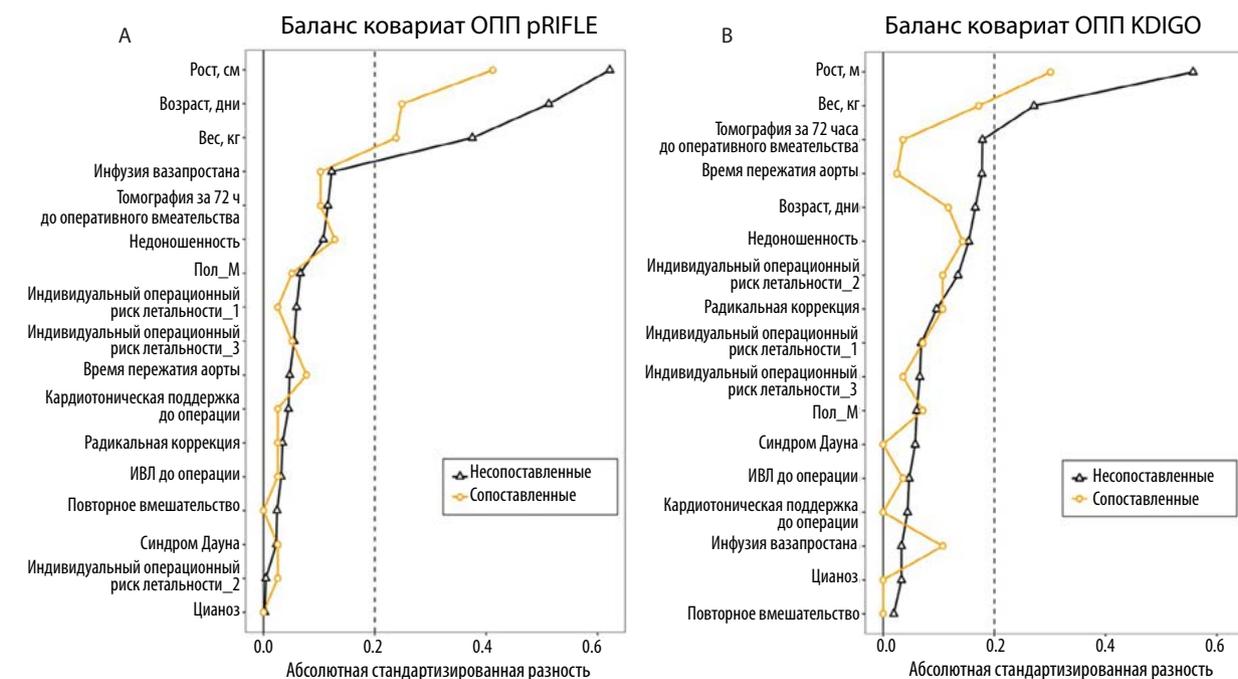


Рис. 1. Абсолютные стандартизированные разности ковариат для шкал острого повреждения почек pRIFLE (A) и KDIGO (B)
 Примечание. ИВЛ – искусственная вентиляция легких; ОПП – острое повреждение почек.

вмешательства и времени искусственной вентиляции легких было больше у пациентов с КХ-ОПП в обеих группах, и это различие статистически значимо ($p < 0,001$). Количество летальных исходов было 2 у пациентов без КХ-ОПП в группе rRIFLE и 1 у паци-

ента без КХ-ОПП в группе KDIGO, без статистически достоверных различий при сравнении с группой КХ-ОПП ($p > 0,99$). Базовые, интраоперационные и послеоперационные показатели для шкал rRIFLE и KDIGO в двух группах представлены в табл. 4.

Табл. 4. Сравнение базовых, интраоперационных и послеоперационных показателей в двух группах

Характеристика	rRIFLE			KDIGO		
	Без КХ-ОПП (n = 39)	С КХ-ОПП (n = 39)	P	Без КХ-ОПП (n = 28)	С КХ-ОПП (n = 28)	P
Возраст, дни	9 [5–37]	14 [7–37]	0,612	9,5 [5,75–35,50]	17,5 [7,0–41,5]	0,341
Вес, кг	3,33 [2,65–4,20]	3,25 [2,70–3,74]	0,514	3,15 [2,56–4,05]	3,26 [2,6–3,8]	0,823
Инфузия вазопростана, n (%)	16 (41)	20 (51,3)	0,491	15 (53,6)	12 (42,9)	0,594
ИВЛ до операции, n (%)	5 (12,8)	6 (15,4)	>0,999	4 (14,3)	3 (10,7)	>0,999
Кардиотоники до операции, n (%)	4 (10,3)	3 (7,7)	>0,999	2 (7,1)	2 (7,1)	>0,999
Время пережатия аорты, мин	17,7 ± 5,77	18,2 ± 6,96	0,710	18,2 ± 6,07	18,9 ± 7,19	0,721
Дней в ОРИТ	4 [2–6]	6 [4–10]	<0,001	4 [2–6]	7 [4–11]	<0,001
ИВЛ после операции, ч	22 [12–30]	71 [28,5–138,0]	<0,001	23,5 [16–32]	114 [37,2–146,0]	<0,001
ВИП	2,5 [0,5–5,0]	5 [1,50–5,25]	0,041	2,5 [0,375–5,000]	4,5 [1,50–5,12]	0,220
Реоперация, n (%)	0 (0)	0 (0)	>0,999	0 (0)	0 (0)	>0,999
Летальность, n (%)	2 (5,1)	0 (0)	0,473	1 (3,6)	0 (0)	>0,999

Примечание. ВИП – вазоактивный инотропный показатель; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; КХ-ОПП – кардиохирургически-ассоциированное острое повреждение почек; ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии. Данные представлены как n (%), или как Ме [Q1 – Q3], или mean ± sd.

Табл. 5. Факторы риска развития КХ-ОПП для шкалы rRIFLE

Фактор	Однофакторная			Многофакторная		
	ОШ	95 % ДИ	p	ОШ	95 % ДИ	p
Возраст, дни	0,99	(0,66–2,01)	0,443	0,99	(0,97–1,02)	0,601
Вес, кг	0,82	(0,54–1,21)	0,332	1,30	(0,54–3,12)	0,503
Рост, см	0,93	(0,84–1,02)	0,131	0,86	(0,69–1,06)	0,150
Мужской пол	0,79	(0,30–2,04)	0,633	1,01	(0,30–3,35)	>0,999
Время пережатия аорты, мин	1,01	(0,94–1,09)	0,710	1,01	(0,92–1,11)	0,802
Инфузия вазопростана	1,51	(0,62–3,74)	0,362	3,35	(0,77–14,6)	0,101
Кардиотоники до операции	0,73	(0,13–3,54)	0,693	0,41	(0,05–3,65)	0,400
ИВЛ до операции	1,24	(0,34–4,66)	0,741	1,05	(0,20–5,47)	>0,999
Томография до операции	2,04	(0,63–7,27)	0,242	1,39	(0,32–6,02)	0,701
RACHS-1						
1	0,917	(0,398–2,091)	0,832	–	–	–
2	1,045	(0,384–2,866)	0,934	0,83	(0,14–4,85)	0,801
3	1,818	(0,359–10,62)	0,485	2,30	(0,22–23,7)	0,503
Общий белок, г/л (исходно)	0,963	(0,905–1,021)	0,211	0,98	(0,90–1,07)	0,600
Общий белок, г/л (1-е сутки после операции)	0,957	(0,883–1,033)	0,271	0,94	(0,83–1,06)	0,305

Примечание. ДИ – доверительный интервал; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; ОШ – отношение шансов; RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности.

Факторы риска развития КХ-ОПП

Для выявления возможных факторов риска КХ-ОПП для шкал rRIFLE и KDIGO в однофакторную и многофакторную модели были включены следующие показатели: возраст, рост, вес, время пережатия аорты, мужской пол, инфузия вазопростана, вентиляционная и кардиотоническая поддержка до оперативного вмешательства, проведение томографических методов с контрастированием в течение 72 ч до момента операции, индивидуальный операционный риск летальности и исходные показатели уровня общего белка крови и альбумина. Однако при проведении однофакторной и многофакторной логистической регрессии статистически значимых факторов выявлено не было. Результаты однофакторного и многофакторного регрессионного анализа для факторов риска КХ-ОПП по шкале rRIFLE представлены в табл. 5.

В табл. 6 представлены результаты однофакторного и многофакторного анализа для факторов риска КХ-ОПП по шкале KDIGO.

Факторы риска течения послеоперационного периода

Для выявления факторов, повлиявших на длительность нахождения пациентов в палате реанимации, был выполнен линейный регрессионный

анализ с включением в модель таких переменных, как возраст пациента на момент операции, вес, время пережатия аорты, инотропная и вазопрессорная терапия до оперативного вмешательства, наличие ИВЛ, индивидуальный операционный риск летальности, инфузия вазопростана, проведение томографических методов исследования за 72 ч до хирургического лечения, исходный уровень альбумина и общего белка крови. Результаты линейного регрессионного анализа продолжительности пребывания в палате реанимации для всех пациентов представлены в табл. 7.

При увеличении возраста пациента на момент операции на 1 день время пребывания в палате возрастает на 0,25 дня, и этот показатель статистически значим ($p < 0,001$). При изменении индивидуального операционного риска с 1 на 2 время пребывания в послеоперационной палате увеличивается на 8,2 дня, а при изменении с 1 на 3 – на 11 дней, и эти изменения статистически значимы ($p = 0,004$).

Для выявления факторов, повлиявших на длительность искусственной вентиляции легких, был выполнен линейный регрессионный анализ с включением в модель таких переменных, как возраст пациента на момент операции, вес, время пережатия аорты, инотропная и вазопрессорная терапия до оперативного вмешательства, наличие ИВЛ,

Табл. 6. Факторы риска развития ОПП для шкалы KDIGO

Фактор	Однофакторная			Многофакторная		
	ОШ	95 % ДИ	<i>p</i>	ОШ	95 % ДИ	<i>p</i>
Возраст, дни	1,00	(0,99–1,02)	0,652	1,00	(0,96–1,04)	>0,999
Вес, кг	0,87	(0,55–1,33)	0,526	0,96	(0,37–2,51)	>0,999
Рост, см	0,94	(0,84–1,05)	0,291	0,83	(0,66–1,06)	0,120
Мужской пол	1,39	(0,45–4,38)	0,577	1,30	(0,30–5,70)	0,704
Время пережатия аорты, мин	1,00	(0,92–1,09)	0,924	1,04	(0,94–1,15)	0,508
Инфузия вазопростана	0,65	(0,22–1,85)	0,423	1,33	(0,25–7,05)	0,702
Кардиотоники до операции	1	(0,11–8,85)	>0,999	0,69	(0,05–9,04)	0,802
ИВЛ до операции	0,72	(0,13–3,59)	0,681	0,60	(0,07–5,21)	0,601
Томография до операции	2,32	(0,35–18,85)	0,384	2,14	(0,26–17,6)	0,506
RACHS-1						
1	1,25	(0,49–3,27)	0,642	–	–	–
2	1,26	(0,38–4,14)	0,694	0,94	(0,13–6,97)	>0,999
3	1,06	(0,18–6,77)	0,944	2,02	(0,16–25,3)	0,608
Общий белок, г/л (исходно)	0,98	(0,91–1,04)	0,522	0,99	(0,89–1,09)	0,801
Общий белок, г/л (1-е сутки после операции)	0,92	(0,83–1,02)	0,133	0,95	(0,82–1,10)	0,502

Примечание. ДИ – доверительный интервал; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; ОШ – отношение шансов; RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности.

Табл. 7. Результаты линейного регрессионного анализа длительности пребывания пациентов в послеоперационной палате

Фактор	Коэффициент	95 % ДИ	p
Возраст, дни	0,25	(0,20–0,30)	<0,001
Вес, кг	–0,81	(–2,4–0,78)	0,311
Время пережатия аорты, мин	0,14	(–0,11–0,39)	0,258
Кардиотоники	–1,4	(–6,2–3,4)	0,557
ИВЛ до операции	–0,95	(–4,5–2,6)	0,595
RACHS-1			
категория 2 vs. категория 1	8,2	(2,3–14)	0,004
категория 3 vs. категория 1	11	(3,1–19)	0,004
Инфузия вазапростана	2,1	(–1,1–5,3)	0,191
Томография	1,1	(–2,3–4,5)	0,521
Альбумин, г/л	0,00	(–0,52–0,51)	0,993
Общий белок, г/л	0,03	(–0,35–0,41)	0,880

Примечание. ДИ – доверительный интервал; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности.

Табл. 8. Результаты линейного регрессионного анализа длительности искусственной вентиляции легких в послеоперационной палате

Фактор	Коэффициент	95 % ДИ	p
Возраст, дни	4,5	(3,6–5,5)	<0,001
Вес, кг	–29	(–60–0,64)	0,055
Время пережатия аорты, мин	1,7	(–3,1–6,4)	0,482
Кардиотоники	–23	(–114–67)	0,605
ИВЛ до операции	25	(–42–93)	0,452
RACHS-1			
категория 2 vs. категория 1	133	(22–243)	0,015
категория 3 vs. категория 1	171	(23–320)	0,020
Инфузия вазапростана	16	(–44–76)	0,600
Томография	–2,7	(–67–62)	0,933
Альбумин, г/л	–1,9	(–12–7,9)	0,699
Общий белок, г/л	0,71	(–6,5–7,9)	0,843

Примечание. ДИ – доверительный интервал; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности.

индивидуальный операционный риск летальности, инфузия вазапростана, проведение томографических исследований за 72 ч до хирургического лечения, исходный уровень альбумина и общего белка крови. Результаты представлены в табл. 8.

Данные регрессионного анализа демонстрируют зависимость продолжительности искусственной вентиляции легких от возраста пациента и индивидуального операционного риска летальности. При увеличении возраста пациента на 1 день время искусственной вентиляции легких увеличивается на

4,5 ч ($p < 0,001$). При увеличении индивидуального операционного риска летальности с категории 1 до категорий 2 и 3 время ИВЛ возрастает на 133 и 171 ч соответственно, и эти изменения статистически значимы ($p = 0,015$, $p = 0,020$).

Также для выявления факторов, влияющих на темп диуреза в первые послеоперационные сутки (мл/(кг·ч)), в палате реанимации был выполнен линейный регрессионный анализ с теми же переменными, использованными ранее, и получены результаты, представленные в табл. 9.

Табл. 9. Результаты линейного регрессионного анализа для темпа диуреза в первые послеоперационные сутки, мл/(кг·ч)

Фактор	Коэффициент	95 % ДИ	p
Возраст, дни	0,00	(-0,02-0,02)	0,960
Вес, кг	-0,37	(-1,1-0,34)	0,300
Время пережатия аорты, мин	-0,03	(-0,14-0,09)	0,634
Кардиотоники	0,46	(-1,7-2,6)	0,673
ИВЛ до операции	-0,58	(-2,2-1,0)	0,473
RACHS-1			
категория 3 vs. категория 1	-4,0	(-7,5-0,46)	0,024
категория 3 vs. категория 2	-2,8	(-5,4-0,09)	0,041
Инфузия вазопростана	1,6	(0,13-3,0)	0,033
Томография	-0,27	(-1,8-1,3)	0,727
Альбумин, г/л	-0,26	(-0,49-0,02)	0,032
Общий белок, г/л	0,10	(-0,07-0,27)	0,244

При увеличении индивидуального операционного риска с 1 до 3 темп диуреза снижается на 4 мл/(кг·ч) ($p = 0,024$), со 2 до 3 темп диуреза снижается на 2,8 мл/(кг·ч) ($p = 0,041$). При увеличении исходного уровня альбумина на 1 г/л темп диуреза в первые послеоперационные сутки снижается на 0,26 мл/(кг·ч) ($p = 0,032$). У пациентов, которые получали инфузию вазопростана до оперативного лечения, темп диуреза был выше на 1,6 мл/(кг·ч) в первые сутки после операции ($p = 0,033$).

Обсуждение

Большинство исследований, посвященных изучению острого повреждения почек после кардиохирургических вмешательств, включают коррекцию врожденных пороков сердца в условиях искусственного кровообращения. В нашем исследовании мы провели ретроспективный анализ пациентов с коарктацией аорты, оперированных в условиях нормотермии, и сравнили частоту развития послеоперационного КХ-ОПП по шкалам rRIFLE и KDIGO.

Согласно имеющимся данным литературы, частота КХ-ОПП варьирует с частотой от 15 до 64 % [20]. В нашем исследовании частота КХ-ОПП по шкале rRIFLE составила 48,8 %, по шкале KDIGO – 35 %, что соотносится с данными других авторов [21–23]. Известные факторы риска развития острого повреждения почек, описанные в основном для пациентов, оперированных в условиях искусственного кровообращения, включают более ранний возраст на момент оперативного вмешательства, более продолжительное время искусственного кровообращения, более сложный ВПС по градации RACHS-1, более низкий уровень ге-

моглобина, альбумина до оперативного вмешательства и т.д. [24].

По результатам нашего исследования выявлено, что при увеличении возраста пациентов на 1 день вероятность развития ОПП по шкале rRIFLE уменьшалась на 0,46 % и возрастала на 0,39 % по шкале KDIGO, и эта зависимость статистически не была значима. При увеличении веса пациентов на 1 кг вероятность развития КХ-ОПП по шкале rRIFLE и KDIGO уменьшалась на 21,7 и 14,9 % соответственно, и эти показатели не были статистически значимыми ($p = 0,332$, $p = 0,526$).

Время пережатия аорты у пациентов с КХ-ОПП и без КХ-ОПП статистически значимо не различалось и составило $17,7 \pm 5,77$ и $18,2 \pm 6,96$ ($p = 0,710$) в группе rRIFLE и $18,2 \pm 6,96$ и $18,9 \pm 7,19$ ($p = 0,721$) в группе KDIGO.

Данные ряда авторов демонстрируют зависимость частоты распространенности КХ-ОПП в зависимости от тяжести врожденного порока сердца, в частности от индивидуального операционного риска летальности RACHS-1 [25; 26]. По результатам нашего исследования достоверных различий между количеством пациентов с различными уровнями RACHS-1 не было. Также степень индивидуального операционного риска летальности не продемонстрировала предиктивной способности в диагностике КХ-ОПП как по шкале rRIFLE, так и по шкале KDIGO.

Развитие КХ-ОПП после хирургической коррекции ВПС в значительной степени увеличивает время искусственной вентиляции легких, время пребывания пациентов в послеоперационной палате и госпитализации в целом [27]. Полученные нами данные также демонстрируют различия во времени нахождения в после-

операционной палате и времени искусственной вентиляции легких при сравнении пациентов без КХ-ОПП и с КХ-ОПП в пользу последних. Так, пациенты с КХ-ОПП, диагностированным по обоим шкалам, в нашем исследовании демонстрируют более длительное время пребывания в послеоперационной палате и более продолжительное время искусственной вентиляции легких ($p < 0,001$). Эти результаты соотносятся с результатами других авторов [2; 3].

При анализе возможных факторов риска течения послеоперационного периода были получены данные, демонстрирующие зависимость времени искусственной вентиляции легких и времени пребывания пациентов в послеоперационной палате от возраста и индивидуального операционного риска летальности. Более возрастные пациенты продемонстрировали более длительное время как искусственной вентиляции легких после оперативного вмешательства, так и нахождения в отделении интенсивной терапии. Большой индивидуальный операционный риск летальности, при котором, если рассматривать категорию 3, где пациентам выполнялась паллиативная коррекция в объеме суживания легочной артерии, также приводит к увеличению продолжительности ИВЛ и времени пребывания в ОРИТ.

Объем выделенной мочи в первые послеоперационные сутки статистически значимо был меньше у пациентов, не получавших инфузию вазопростана до оперативного вмешательства, что может быть результатом менее адекватной перфузии нижней половины туловища у пациентов с коарктацией аорты без применения у них инфузии простагландинов.

Увеличение индивидуального операционного риска летальности с 1 до 2 и 3 также приводит к сниже-

нию темпа диуреза, что подтверждает известный факт влияния тяжести врожденного порока сердца на течение послеоперационного периода в целом.

Ограничения

Исследование выполнено на относительно небольшой когорте пациентов в одном центре. С учетом ретроспективного характера исследования применялся метод псевдорандомизации. Время наблюдения за пациентами ограничивалось периодом нахождения в отделении реанимации.

Заключение

Острое повреждение почек у детей первого года жизни после устранения коарктации аорты выявлено у 39 (48,8 %) пациентов из 80 (несопоставленная когорта, шкала pRIFLE) и у 28 (35 %) пациентов из 80 (несопоставленная когорта, шкала KDIGO) соответственно. При изучении факторов риска, влияющих на развитие острого повреждения почек у пациентов с ВПС, оперированных в условиях искусственного кровообращения, не было обнаружено статистически значимой связи их влияния на пациентов с коарктацией аорты, оперированных в условиях нормотермии. На длительность пребывания пациентов в отделении реанимации и продолжительность искусственной вентиляции легких влияют такие факторы, как возраст и индивидуальный операционный риск летальности. Темп диуреза в первые послеоперационные сутки зависит от таких факторов, как индивидуальный операционный риск летальности, наличие инфузии вазопростана и уровень альбумина до оперативного вмешательства.

Список литературы / References

1. Van den Eynde J., Delpire B., Jacquemyn X., Pardi I., Rotbi H., Gewillig M., Kutty S., Mekahli D. Risk factors for acute kidney injury after pediatric cardiac surgery: a meta-analysis. *Pediatr Nephrol.* 2022;37(3):509-519. PMID: 34595570. <https://doi.org/10.1007/s00467-021-05297-0>
2. Zappitelli M., Parikh C.R., Kaufman J.S., Go A.S., Kimmel P.L., Hsu C.Y., Coca S.G., Chinchilli V.M., Greenberg J.H., Moxey-Mims M.M., Ikizler T.A., Cockovski V., Dyer A.M., Devarajan P.; ASSESSment, Serial Evaluation, and Subsequent Sequelae in Acute Kidney Injury (ASSESS-AKI) Investigators. Acute Kidney Injury and Risk of CKD and Hypertension after Pediatric Cardiac Surgery. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2020;15(10):1403-1412. PMID: 32948644; PMCID: PMC7536759. <https://doi.org/10.2215/CJN.00150120>
3. Van den Eynde J., Rotbi H., Gewillig M., Kutty S., Allegaert K., Mekahli D. In-Hospital Outcomes of Acute Kidney Injury After Pediatric Cardiac Surgery: A Meta-Analysis. *Front Pediatr.* 2021;9:733744. PMID: 34540775; PMCID: PMC8446539. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.733744>
4. Балахнин Д.Г., Черных И.И., Ивкин А.А., Борисенко Д.В., Григорьев Е.В. Проблема острого повреждения почек у кардиохирургических пациентов. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2022;19(5):93-101. <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2022-19-5-93-101>
5. Balakhnin D.G., Chernnykh I.I., Ivkin A.A., Borisenko D.V., Grigoryev E.V. The Issue of Acute Kidney Injury in Patients after Cardiac Surgery. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation.* 2022;19(5):93-101. (In Russ.) <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2022-19-5-93-101>
6. Keeling W.B., Tian D.H., Leshnowar B.G., Numata S., Hughes G.C., Matalanis G., Okita Y., Yan T.D., Kouchoukos N., Chen E.P.; IAASSG Investigators. Safety of Moderate Hypothermia With Antegrade Cerebral Perfusion in Total Aortic Arch Replacement. *Ann Thorac Surg.* 2018;105(1):54-61. PMID: 29167026. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.06.072>
6. Беляева М.М., Ильин В.Н., Корноухов О.Ю., Корноухов Ю.Ю., Калинина О.И. Коррекция коарктации аорты из бокового до-

- стуга у новорожденных и грудных детей. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2018;22(4):12-20. <https://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2018-4-12-20>
- Belyaeva M.M., Ilyin V.N., Kornoukhov O.Yu., Kornoukhov Yu.Yu., Kalinina O.I. Coarctation repair through left thoracotomy in neonates and infants. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2018;22(4):12-20. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2018-4-12-20>
7. Kaushal S., Backer C.L., Patel J.N., Patel S.K., Walker B.L., Weigel T.J., Randolph G., Wax D., Mavroudis C. Coarctation of the aorta: midterm outcomes of resection with extended end-to-end anastomosis. *Ann Thorac Surg*. 2009;88(6):1932-8. PMID: 19932265. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2009.08.035>
 8. Gritti M.N., Farid P., Manlihot C., Noone D., Sakha S., Ali S., Bernknopf B., McCrindle B.W. Factors Associated With Acute Kidney Injury After Cardiopulmonary Bypass in Children. *CJC Pediatr Congenit Heart Dis*. 2022;2(1):20-29. PMID: 37970105; PMCID: PMC10642090. <https://doi.org/10.1016/j.cjpc.2022.11.007>
 9. Sugimoto K., Toda Y., Iwasaki T., Shimizu K., Kanazawa T, Muto N., Kawase H., Morimatsu H., Morita K., Maeshima Y., Mori K., Sano S. Urinary Albumin Levels Predict Development of Acute Kidney Injury After Pediatric Cardiac Surgery: A Prospective Observational Study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2016;30(1):64-8. PMID: 26341880. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2015.05.194>
 10. Lee E.H., Baek S.H., Chin J.H., Choi D.K., Son H.J., Kim W.J., Hahm K.D., Sim J.Y., Choi I.C. Preoperative hypoalbuminemia is a major risk factor for acute kidney injury following off-pump coronary artery bypass surgery. *Intensive Care Med*. 2012;38(9):1478-86. PMID: 22618092. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2599-8>
 11. Kertai M.D., Zhou S., Karhausen J.A., Cooter M., Jooste E., Li Y.J., White W.D., Aronson S., Podgoreanu M.V., Gaca J., Welsby I.J., Levy J.H., Stafford-Smith M., Mathew J.P., Fontes M.L. Platelet Counts, Acute Kidney Injury, and Mortality after Coronary Artery Bypass Grafting Surgery. *Anesthesiology*. 2016;124(2):339-52. PMID: 26599400; PMCID: PMC5040517. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000959>
 12. Sasaki J., Rodriguez Z., Alten J.A., Rahman A.F., Reichle G., Lin P., Banerjee M., Selewski D., Gaies M., Hock K.M., Borasino S., Gist K.M.; NEPHRON Collaborative. Epidemiology of Neonatal Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery Without Cardiopulmonary Bypass. *Ann Thorac Surg*. 2022;114(5):1786-1792. PMID: 34678277. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2021.09.032>
 13. Aubry P., Brillet G., Catella L., Schmidt A., Bénard S. Outcomes, risk factors and health burden of contrast-induced acute kidney injury: an observational study of one million hospitalizations with image-guided cardiovascular procedures. *BMC Nephrol*. 2016;17(1):167. PMID: 27821094; PMCID: PMC5100322. <https://doi.org/10.1186/s12882-016-0385-5>
 14. Cantais A., Hammouda Z., Mory O., Patural H., Stephan J.L., Gulyaeva L., Darmon M. Incidence of contrast-induced acute kidney injury in a pediatric setting: a cohort study. *Pediatr Nephrol*. 2016;31(8):1355-62. PMID: 27001054. <https://doi.org/10.1007/s00467-016-3313-9>
 15. McDonald J.S., McDonald R.J., Tran C.L., Kolbe A.B., Williamson E.E., Kallmes D.F. Postcontrast Acute Kidney Injury in Pediatric Patients: A Cohort Study. *Am J Kidney Dis*. 2018;72(6):811-818. PMID: 30041876. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.05.014>
 16. Akcan-Arikan A., Zappitelli M., Loftis L.L., Washburn K.K., Jefferson L.S., Goldstein S.L. Modified RIFLE criteria in critically ill children with acute kidney injury. *Kidney Int*. 2007;71(10):1028-35. PMID: 17396113. <https://doi.org/10.1038/sj.ki.5002231>
 17. Khwaja A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury. *Nephron Clin Pract*. 2012;120(4):c179-84. PMID: 22890468. <https://doi.org/10.1159/000339789>
 18. Gaies M.G., Gurney J.G., Yen A.H., Napoli M.L., Gajarski R.J., Ohye R.G., Charpie J.R., Hirsch J.C. Vasoactive-inotropic score as a predictor of morbidity and mortality in infants after cardiopulmonary bypass. *Pediatr Crit Care Med*. 2010;11(2):234-8. PMID: 19794327. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3181b806fc>
 19. Jenkins K.J., Gauvreau K. Center-specific differences in mortality: preliminary analyses using the Risk Adjustment in Congenital Heart Surgery (RACHS-1) method. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2002;124(1):97-104. PMID: 12091814. <https://doi.org/10.1067/mtc.2002.122311>
 20. Aoun B., Daher G.A., Daou K.N., Sanjad S., Tamim H., El Rassi I., Arabi M., Sharara R., Bitar F., Assy J., Bulbul Z., Degheili J.A., Majdalani M. Acute Kidney Injury Post-cardiac Surgery in Infants and Children: A Single-Center Experience in a Developing Country. *Front Pediatr*. 2021;9:637463. PMID: 34381742; PMCID: PMC8350128. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.637463>
 21. Sutherland S.M., Byrnes J.J., Kothari M., Longhurst C.A., Dutta S., Garcia P., Goldstein S.L. AKI in hospitalized children: comparing the pRIFLE, AKIN, and KDIGO definitions. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2015;10(4):554-61. PMID: 25649155; PMCID: PMC4386245. <https://doi.org/10.2215/CJN.01900214>
 22. Gao P., He W., Jin Y., Zhou C., Zhang P., Wang W., Hu J., Liu J. Acute kidney injury after infant cardiac surgery: a comparison of pRIFLE, KDIGO, and pROCK definitions. *BMC Nephrol*. 2023;24(1):251. PMID: 37612619; PMCID: PMC10464137. <https://doi.org/10.1186/s12882-023-03306-y>
 23. Полушин Ю.С., Соколов Д.В., Молчан Н.С., Акмалова Р.В., Галкина О.В. Острое повреждение почек при операциях на сердце с использованием искусственного кровообращения. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2021;18(6):38-47. <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2021-18-6-38-47>
 - Polushin Yu.S., Sokolov D.V., Molchan N.S., Akmalova R.V., Galkina O.V. Acute Kidney Injury in Cardiac Surgery with Cardiopulmonary Bypass. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*. 2021;18(6):38-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2021-18-6-38-47>
 24. Song Y., Kim D.W., Kwak Y.L., Kim B.S., Joo H.M., Ju J.W., Yoo Y.C. Urine Output During Cardiopulmonary Bypass Predicts Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery: A Single-Center Retrospective Analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(22):e3757. PMID: 27258505; PMCID: PMC4900713. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000003757>
 25. Aydin S.I., Seiden H.S., Blaufox A.D., Parnell V.A., Choudhury T., Punnoose A., Schneider J. Acute kidney injury after surgery for congenital heart disease. *Ann Thorac Surg*. 2012;94(5):1589-95. PMID: 22884599. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2012.06.050>
 26. Wang Y., Bellomo R. Cardiac surgery-associated acute kidney injury: risk factors, pathophysiology and treatment. *Nat Rev Nephrol*. 2017;13(11):697-711. PMID: 28869251. <https://doi.org/10.1038/nrneph.2017.119>
 27. Khuong J.N., Wilson T.G., Iyengar A.J., d'Udekem Y. Acute and Chronic Kidney Disease Following Congenital Heart Surgery: A Review. *Ann Thorac Surg*. 2021;112(5):1698-1706. PMID: 33310148. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.10.054>