



Индекс резистентности почечных сосудов у детей первого года жизни с врожденными пороками сердца, оперированных в условиях искусственного кровообращения, как предиктор острого повреждения почек

С. А. СЕРГЕЕВ, В. В. ЛОМИВОРОТОВ

Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е. Н. Мешалкина, г. Новосибирск, РФ

РЕЗЮМЕ

Цель – оценить индекс резистентности почечных сосудов в качестве предиктора острого повреждения почек у детей первого года жизни после коррекции врожденных пороков сердца в условиях искусственного кровообращения.

Материалы и методы. В одноцентровое ретроспективное исследование были включены 150 пациентов с врожденными пороками сердца (ВПС), у которых на этапах оперативного вмешательства (до операции, через 6 часов после окончания искусственного кровообращения и на первые сутки после операции) оценивали индекс резистентности почечных сосудов. Диагноз острого повреждения почек (ОПП) устанавливали по критериям KDIGO. Для достижения сопоставимости полученных групп была выполнена псевдорандомизация. После компенсации неравномерного распределения кофакторов были получены сопоставимые по количеству группы пациентов ($n = 52$ в обеих группах).

Результаты. Индекс резистентности почечных сосудов на этапах оперативного вмешательства не отличался среди пациентов с острым повреждением почек и без него. Исходный уровень креатинина был больше в группе без ОПП, однако начиная с первых послеоперационных суток преобладал в группе с ОПП. Шансы развития ОПП у пациентов мужского пола были ниже на 74%.

Заключение. Продемонстрировано отсутствие предиктивной способности индекса резистентности почечных сосудов в остром повреждении почек у детей возраста от 1 месяца до 1 года с ВПС, оперированных в условиях искусственного кровообращения.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца, искусственное кровообращение, индекс резистентности, острое повреждение почек

Для цитирования: Сергеев С. А., Ломиворотов В. В. Индекс резистентности почечных сосудов у детей первого года жизни с врожденными пороками сердца, оперированных в условиях искусственного кровообращения, как предиктор острого повреждения почек // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2023. – Т. 20, № 5. – С. 26–32. DOI: 10.24884/2078-5658-2023-20-5-26-32.

The renal vascular resistive index as a predictor of acute kidney injury in children of the first year of life in congenital heart surgery with cardiopulmonary bypass

S. A. SERGEEV, V. V. LOMIVOROTOV

Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

The objective was to evaluate the renal vascular resistive index as a predictor of acute kidney injury in children of the first year of life in congenital heart surgery with cardiopulmonary bypass.

Materials and methods. A single-center retrospective study included 150 patients with congenital heart disease (CHD), whose renal vascular resistive index (RVRI) was assessed at the stages of surgical interventions (before surgery, 6 hours after the end of cardiopulmonary bypass (CPB) and the 1st day after surgery).

Acute kidney injury (AKI) was diagnosed according to the KDIGO criteria. To achieve comparability of the obtained groups, pseudo-randomization was performed. After compensating for the uneven distribution of cofounders, groups of patients comparable in number were obtained ($n = 52$ in both groups).

Results. The renal vascular resistive index at the stages of surgical intervention did not differ among patients with and without acute kidney injury. The baseline of creatinine was higher in the group without AKI, however, starting from the 1st postoperative day, it prevailed in the group with AKI. The chances of developing AKI in male patients were 74% lower.

Conclusion. The absence of a predictive ability of the renal vascular resistive index in acute kidney injury in children aged 1 month to 1 year with congenital heart disease operated with cardiopulmonary bypass was demonstrated.

Key words: congenital heart disease, cardiopulmonary bypass, resistive index, acute kidney injury

For citation: Sergeev S. A., Lomivorotov V. V. The renal vascular resistive index as a predictor of acute kidney injury in children of the first year of life in congenital heart surgery with cardiopulmonary bypass. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2023, Vol. 20, № 5, P. 26–32. (In Russ.) DOI: 10.24884/2078-5658-2023-20-5-26-32.

Для корреспонденции:

Владимир Владимирович Ломиворотов
E-mail: vvlom@mail.ru

Correspondence:

Vladimir V. Lomivorotov
E-mail: vvlom@mail.ru

Введение

Острое повреждение почек после кардиохирургических вмешательств (КХ-ОПП) является частым осложнением и у 6% пациентов требует проведения перитонеального диализа [28]. У пациентов детского возраста встречаемость КХ-ОПП по данным разных авторов составляет 27–50% [5, 18, 29] и тесно

связана со смертностью и продолжительностью пребывания в палате интенсивной терапии [23]. Несмотря на высокий процент случаев развития данного осложнения, ранняя диагностика ОПП в периоперационном периоде затруднена, что связано главным образом с задержкой повышения уровня традиционных маркеров, таких, например, как креатинина в сыворотке крови [1, 15], уровень которого

может не достигать максимальных значений в течение 1–3 дней после операции с искусственным кровообращением [22]. Объем выделенной мочи – другой критерий, являющийся диагностическим в определении КХ-ОПП, также обладает низкой специфичностью, особенно в детском возрасте, и может быть нормальным при развитии острого повреждения почек [2, 16].

В настоящее время имеется достаточно много маркеров, способных выступать в качестве предикторов развития острого повреждения почек, однако широкого распространения и внедрения в клиническую повседневную практику они не получили.

Индекс резистентности (ИР) ([пиковая систолическая скорость – пиковая диастолическая скорость] / пиковая диастолическая скорость) был предложен в качестве параметра количественной оценки изменений почечного кровотока, которые могут происходить при остром повреждении почек [30]. Некоторые исследования показывают, что нормальным значением уровня резистентности у взрослых является показатель, равный $0,6 \pm 0,01$ – в популяции без предшествующих заболеваний почек [13]. По данным других исследований, за нормальное значение индекса резистентности принимается показатель, равный $0,64 \pm 0,05$, $0,58 \pm 0,05$ [26] и $0,62 \pm 0,04$ [14]. Таким образом, у взрослых верхним порогом индекса резистентности большинством исследователей принят показатель, равный 0,7 [24, 25]. У детей первого года жизни среднее значение обычно превышает 0,7 и сохраняется таковым вплоть до 4 лет [4, 6].

Некоторые исследования показали, что индекс резистентности может использоваться в качестве предиктора острого повреждения почек у пациентов, находящихся в критическом состоянии, у пациентов с сепсисом и после хирургических вмешательств [7, 19, 27]. Также обнаружена корреляция между повышением индекса резистентности в первые сутки после оперативного вмешательства и возникновением острого повреждения почек на 5 день при септическом шоке [17].

Цель работы – оценка индекса резистентности почечных сосудов в качестве предиктора развития острого повреждения почек, ассоциированного с кардиохирургическими вмешательствами при коррекции врожденных пороков сердца у детей в возрасте от 1 месяца до 1 года, оперированных в условиях искусственного кровообращения.

Материалы и методы

Одноцентровое ретроспективное исследование было одобрено локальным этическим комитетом (протокол № 2 от 03.02.2017 г.).

Были включены 150 пациентов в возрасте от 1 месяца до 1 года, оперированных в условиях искусственного кровообращения в кардиохирургическом отделении врожденных пороков сердца ФГБУ

«НМИЦ им. акад. Е. Н. Мешалкина» (г. Новосибирск) с февраля 2017 г. по октябрь 2018 г.

Пациенты с развитием КХ-ОПП составили исследуемую группу (1-я группа, $n = 52$), контрольную группу составили пациенты без ОПП (2-я группа, $n = 98$). Диагноз ОПП устанавливали согласно критериям KDIGO [12] в зависимости от изменения уровня креатинина, который определяли до оперативного вмешательства и в течение 4 суток после оперативного вмешательства.

Для достижения максимальной сопоставимости 2 групп и минимизации систематических ошибок была выполнена псевдорандомизация методом поиска ближайшего соседа 1:1 (англ. propensity score matching, nearest neighbor matching). Ковариаты, которые бы могли повлиять на развитие острого повреждения почек, были выбраны следующие: катетеризация полостей сердца в рентген-операционной до или после оперативного вмешательства, длительность искусственного кровообращения, время окклюзии аорты и индивидуальный операционный риск летальности (RACHS-1) [11], возраст и вес пациентов. После компенсации неравномерного распределения кофакторов были получены сопоставимые по количеству группы пациентов ($n = 52$ в обеих группах).

Индекс резистентности почечных сосудов измеряли методом пульсового доплера в 3 точках и рассчитывали среднее значение. Скорость кровотока в аорте определялась в восходящей ее части, скорость в нижней полой вене – сразу после ее отхождения от правого предсердия. Также были оценены стандартные эхокардиографические показатели, используемые в нашем центре (ФВ ЛЖ, TAPSE, ФИП ПЖ). Все измерения проводили трижды – до оперативного вмешательства, через 6 часов после окончания искусственного кровообращения и на первые сутки после операции. Исследования проводили при помощи аппарата Philips CX50 (Philips Ultrasound, Inc., 22100 Bothell Everett Highway, Bothwell, WA, USA).

Объем выделенной мочи в качестве определяющего фактора ОПП не использовали, учитывая, что после оперативного вмешательства все пациенты получали инфузию лазикса, доза которого составляла от 0,05 до 0,5 мг·кг⁻¹·ч⁻¹.

Вазоактивный инотропный индекс (VIS) рассчитывали по формуле: инотропный индекс (допамин (мкг·кг⁻¹·мин⁻¹) + добутамин (мкг·кг⁻¹·мин⁻¹) + 100·эпинефрин (мкг·кг⁻¹·мин⁻¹) + 10·милринон (мкг·кг⁻¹·мин⁻¹) + 10000·вазопрессин (Ед/кг/мин) + 100·норэпинефрин (мкг·кг⁻¹·мин⁻¹) [9].

Анестезиологическое пособие выполняли согласно принятым в центре протоколам. Индукцию в анестезию проводили севофлураном. После установки венозного доступа вводили фентанил и пипекурония бромид (0,08–0,1 мг/кг), выполняли интубацию трахеи, перевод пациента на ИВЛ с FiO₂ 0,5 в режиме нормовентиляции. Устанавливали катетер в центральную вену и лучевую артерию

Таблица 1. Базовые, демографические, предоперационные и интраоперационные характеристики пациентов с ОПП и без него**Table 1.** Baseline, demographic, preoperative and intraoperative characteristics of patients with and without AKI

Показатель	Без КХ-ОПП (n = 52)	КХ-ОПП (n = 52)	p
Возраст, мес., Median [IQR]	5 [3–6,5]	5 [3–8,5]	0,91 ²
Вес, кг, M ± SD	6,4 ± 1,4	6,1 ± 1,6	0,34 ¹
Рост, см, M ± SD	64,5 ± 5,2	63,6 ± 6,2	0,44 ¹
Пол, мужской (n, %)	32 (61,5)	20 (38,5)	0,01 ³
Цианотический ВПС (n, %)	13 (25)	12 (23,1)	0,81 ³
RACHS-1 (n, %)			
1	10 (19,2)	9 (17,3)	0,2 ³
2	40 (77)	36 (69,2)	
3	2 (3,8)	7 (13,5)	
ЧВЗ перед вмешательством (n, %)	8 (15,4)	7 (13,5)	0,78 ³
ИК, мин., Median [IQR]	47 [32–70]	53,3 [36–66,5]	0,56 ²
Окклюзия Ао, мин., Median [IQR]	23 [9–39]	23,5 [13–35,5]	0,68 ²
Окклюзия Ао (n, %)	41 (78,8)	45 (86,5)	0,3 ³
Температура, оС, Median [IQR]	36,5 [34,9–36,3]	35,4 [34,4–36]	0,25 ²
Креатинин, мкмоль/л, Median [IQR]	39 [36–43,5]	36 [32–39,5]	0,003 ²
ФВ ЛЖ, Teicholz, %, Median [IQR]	77 [71–82]	76 [69–80,5]	0,28 ²
ФВ ЛЖ, Simpson, %, Median [IQR]	75 [69,5–78]	73,5 [67,5–77,5]	0,41 ²
КДО ЛЖ, Teicholz, %, Median [IQR]	13 [9–20]	11 [7,5–21,5]	0,58 ²
КДО ЛЖ, Simpson, %, Median [IQR]	9 [6–12,5]	8,5 [5–13]	0,48 ²
TAPSE, мм, Median [IQR]	1,2 [1–1,4]	1,2 [1–1,5]	0,76 ²
ФИП ПЖ, %, M ± SD	48,8 ± 7,7	48,6 ± 7,7	0,89 ¹
Ао, м/с, Median [IQR]	1,2 [1–1,4]	1,1 [1–1,3]	0,24 ²
НПВ, см/с, Median [IQR]	28,4 [23,9–43,4]	29,1 [23,2–42,3]	0,74 ²
ИР, Median [IQR]	0,69 [0,63–0,72]	0,71 [0,66–0,74]	0,16 ²

Примечание: КХ-ОПП – острое повреждение почек, ассоциированное с кардиохирургическим вмешательством, RACHS-1 – индивидуальный операционный риск летальности [9], ЧВЗ – чрезвенозное зондирование, ИК – искусственное кровообращение, ФВ – фракция выброса, КДО – конечно диастолический объем, TAPSE – систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана, ФИП – фракция изменения площади, Ао – скорость кровотока в восходящей аорте, НПВ – скорость кровотока в нижней полой вене, ИР – индекс резистентности. 1 – T-test; 2 – Mann – Whitney U Test; 3 – Chi-square test. Данные представлены как n (%), M ± SD или Median [IQR].

с целью инвазивного мониторинга артериального давления.

Общую анестезию поддерживали введением фентанила 5 мкг/кг/ч, подачей галогенсодержащего анестетика (севофлюран) в дыхательный контур (1–2 об%). Во время искусственного кровообращения анестезию поддерживали введением фентанила 2,5–3,5 мкг·кг⁻¹·ч⁻¹ и пропофола 2–4 мг·кг⁻¹·ч⁻¹. Мышечную релаксацию обеспечивали введением пипекурония бромидом в дозе 0,02–0,04 мг·кг⁻¹·ч⁻¹.

Статистический анализ. Гипотезу о нормальности распределения проверяли методом Шапиро – Уилка. При близком к нормальному распределению переменные представляли в виде среднего арифметического и стандартного отклонения; качественные переменные представлены в виде чисел (%). Для определения достоверности различий межгрупповых сравнений применяли в группах номинальных данных критерий χ^2 Пирсона или точный критерий Фишера в зависимости от ситуации; в группах порядковых данных – непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Для выявления возможных факторов риска развития КХ-ОПП использовали методы регрессионного анализа. Статистическую обработку выполняли с помощью программы SPSS Statistics

26, уровень значимости для всех методов установили как $p < 0,05$.

Результаты

Базовые, демографические, предоперационные и интраоперационные характеристики пациентов без КХ-ОПП и с КХ-ОПП представлены в табл. 1.

Пациенты 2 сравниваемых групп не отличались по возрасту, росту и весу, времени искусственного кровообращения, количеству операций с окклюзией аорты и времени ее пережатия. Не было отличий в количестве пред- и послеоперационных инвазивных исследований в рентген-операционной. Количество пациентов с цианозом и индивидуальный операционный риск летальности в исследуемых группах также не отличались. Не было различий в данных ультразвуковых исследований.

Исходный уровень креатинина был меньше в группе без КХ-ОПП. Пациенты женского пола преобладали в группе с КХ-ОПП.

Данные послеоперационного периода (табл. 2) демонстрируют различия в уровне креатинина в группах КХ-ОПП и без КХ-ОПП в течение последующих 4 суток после оперативного вмешательства с

Таблица 2. Послеоперационные показатели

Table 2. Postoperative characteristics

Показатель	Без КХ-ОПП (n = 52)	КХ-ОПП (n = 52)	p
Креатинин, 1 сутки п/о, мкмоль/л, M ± SD	43,6 ± 9,6	52,4 ± 11,6	0,004 ¹
Креатинин, 2 сутки п/о, мкмоль/л, M ± SD	50,1 ± 9	58,5 ± 12,7	0,002 ¹
Креатинин, 3 сутки п/о, мкмоль/л, Median [IQR]	47 [42–56,5]	60,5 [51–71,5]	<0,001 ²
Креатинин, 4 сутки п/о, мкмоль/л, Median [IQR]	48 [41,5–51,5]	68 [58,5–76,5]	<0,001 ²
ФВ ЛЖ, 6 часов п/о, Teicholz, %, Median [IQR]	70 [64–76]	74,5 [64,5–78]	0,29 ²
ФВ ЛЖ, 1 сутки п/о, Teicholz, %, Median [IQR]	68,5 [57–74]	69 [56,5–77]	0,56 ²
ФВ ЛЖ, 6 часов п/о, Simpson, %, Median [IQR]	70 [65–76]	72 [60,5–77]	0,95 ²
ФВ ЛЖ, 1 сутки п/о, Simpson, %, Median [IQR]	66,5 [55,5–72]	67 [56,5–74]	0,71 ²
КДО ЛЖ, 6 часов п/о, Teicholz, мл, Median [IQR]	9 [8–13,5]	9 [6–14]	0,69 ²
КДО ЛЖ, 1 сутки п/о, Teicholz, мл, Median [IQR]	10,5 [8–14]	9 [6–14,5]	0,41 ²
КДО ЛЖ, 6 часов п/о, Simpson, мл, Median [IQR]	6,5 [4–9]	6,5 [4–9]	0,9 ²
КДО ЛЖ, 1 сутки п/о, Simpson, мл, Median [IQR]	6 [4–8]	7 [4,5–9,5]	0,23 ²
ТАРСЕ, 6 часов п/о, мм, Median [IQR]	0,56 [0,41–0,77]	0,53 [0,43–0,73]	0,92 ²
ТАРСЕ, 1 сутки п/о, мм, Median [IQR]	0,51 [0,41–0,64]	0,48 [0,43–0,59]	0,73 ²
ФИП ПЖ, 6 часов п/о, %, Median [IQR]	48 [41,7–53]	47,5 [41–56]	0,33 ²
ФИП ПЖ, 1 сутки п/о, %, M ± SD	46,4 ± 9,9	48,5 ± 8	0,24 ¹
Ао, 6 часов п/о, м/с, M ± SD	1,3 ± 0,3	1,3 ± 0,3	0,88 ¹
Ао, 1 сутки п/о, м/с, M ± SD	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,3	0,42 ¹
НПВ, 6 часов п/о, см/с, Median [IQR]	31,4 [23,3–38,7]	25 [20,7–32,4]	0,008 ²
НПВ, 1 сутки п/о, см/с, Median [IQR]	26,6 [20,3–36,9]	27,5 [21,2–35,1]	0,93 ²
ИР, 6 часов п/о, M ± SD	0,65 ± 0,06	0,67 ± 0,05	0,38 ¹
ИР, 1 сутки п/о, Median [IQR]	0,67 [0,62–0,71]	0,67 [0,63–0,72]	0,7 ²
Диурез, 6 часов п/о, мл/кг/час, Median [IQR]	6,1 [3,8–8,5]	6,9 [5–9,3]	0,18 ²
Диурез, 1 сутки п/о, мл/кг/час, Median [IQR]	4,9 [4–5,6]	5 [4,1–6,2]	0,26 ²
VIS, 6 часов п/о, Median [IQR]	1,5 [0–4,25]	2,25 [0,5–6,62]	0,18 ²
VIS, 1 сутки п/о, Median [IQR]	0,25 [0–3]	1,5 [0–5,8]	0,043 ²
МУФ, n (%)	38 (73,1)	41 (78,8)	0,49 ³
МУФ, мл, Median [IQR]	400 [0–500]	400 [270–500]	0,6 ²
ИВЛ, часы п/о, Median [IQR]	19 [5,5–36]	21 [7–40]	0,58 ²
ПЗТ (перитонеальный диализ), n (%)	0	1 (1,9)	0,31 ³
П/о дней в ОРИТ, Median [IQR]	2 [1–3]	2,5 [1–4]	0,07 ²

Примечание: аналогично табл. 1. Дополнительно: VIS – вазоактивный инотропный индекс, МУФ – модифицированная ультрафильтрация, ИВЛ – искусственная вентиляция легких, ПЗТ – почечная заместительная терапия.

преобладанием в группе КХ-ОПП. Вазоактивный инотропный индекс на первые сутки после оперативного вмешательства в группе КХ-ОПП был больше.

При сравнении ультразвуковых показателей 2 сравниваемых групп была выявлена разница в скорости кровотока в системе нижней полой вены через 6 часов после остановки искусственного кровообращения, которая была меньше в группе КХ-ОПП.

Потенциальные предоперационные и интраоперационные факторы риска для развития ОПП представлены в табл. 3.

Для выявления возможных факторов риска КХ-ОПП все показатели из табл. 1, 2 были проанализированы в одномерном регрессионном анализе, и те, у которых уровень значимости p составил менее 0,05, были в дальнейшем внесены в табл. 3. Полученные результаты демонстрируют меньшую вероятность развития КХ-ОПП у пациентов мужского пола на 74%.

Обсуждение

Показатели индекса резистентности почечных сосудов у детей от 1 месяца до 1 года в пред- и послеоперационном периоде после коррекции врожденных пороков сердца в условиях искусственного кровообращения не показали предиктивной способности в ранней диагностике КХ-ОПП.

У 52 пациентов диагностировано КХ-ОПП согласно критериям KDIGO, что составляет 34,6% среди всех вошедших в исследование. Среди них степень 1 составила 67,3% (35 пациентов), степень 2–28,8% (15 пациентов) и степень 3–3,8% (2 пациента).

В исследованиях у взрослых пациентов уровень индекса резистентности выше 0,7 в разы увеличивал риск развития ОПП после кардиохирургических вмешательств у пациентов с ишемической болезнью сердца и приобретал прогностическую

Таблица 3. Предоперационные и послеоперационные факторы риска развития КХ-ОПП

Table 3. Preoperative and postoperative risk factors of CS-AKI

Показатель	Однофакторный		Многофакторный	
	ОШ (95% ДИ)	р	ОШ (95% ДИ)	р
Пол, мужской	0,39 (0,17–0,86)	0,019	0,26 (0,07–0,8)	0,029
НПВ, 6 часов п/о, см/с	0,95 (0,91–0,99)	0,0097		
VIS, 1 сутки п/о	1,12 (1,0–1,26)	0,027		

ценность в качестве предоперационного маркера [10]. Повышение индекса резистентности почечных сосудов в предоперационном периоде у пациентов, перенесших кардиохирургическое вмешательство, связано с ОПП и повышенным риском 30-дневной летальности и осложнениями в виде инфаркта миокарда [3].

Исследования других авторов также демонстрируют связь повышенного индекса резистентности почечных сосудов и острого повреждения почек у пациентов, которые требуют проведения искусственной вентиляции легких в отделении реанимации и интенсивной терапии [21].

В исследованиях ряда авторов при изучении прогностической ценности индекса резистентности почечных сосудов у пациентов с сепсисом и политравмой, измеряемого методом неинвазивной доплерографии, выявлена достоверность в прогнозировании рисков развития острого повреждения почек [27, 31]. M. Darmon et al. (2010) продемонстрировали, что индекс резистентности может повышаться в случаях высокого риска развития персистирующего ОПП еще до того, как оно будет диагностировано клинически, и наиболее специфическая и чувствительная прогностическая ценность индекса резистентности при доплеровском сканировании у пациентов, находящихся на искусственной вентиляции легких, составила $> 0,795$ [7].

Результаты исследования других авторов отображают умеренную предиктивную способность индекса резистентности в диагностике ОПП при сравнении пациентов, находящихся в отделении реанимации и интенсивной терапии, и предполагают взаимосвязь его с тяжестью исходной, имеющейся почечной дисфункцией, учитывая различные пути патогенеза, включающие преренальные, ренальные и постренальные факторы [20].

В исследованиях у новорожденных пациентов индекс резистентности почечных сосудов показал достаточную чувствительность и специфичность, чтобы быть использованным в качестве раннего предиктора острого повреждения почек [8].

Ограничения: наличие исходного дисбаланса между группами в клинико-демографических характеристиках и разницы между объемами полученных выборок – с целью коррекции была выполнена псевдорандомизация.

Заключение

Результаты нашего исследования демонстрируют отсутствие предиктивной способности индекса резистентности на этапах периоперационного периода в диагностике острого повреждения почек у исследуемой группы пациентов после коррекции врожденных пороков сердца в условиях искусственного кровообращения.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелевская И. Г., Бец О. Г., Архипова А. Г. Факторы риска и вероятность возникновения острой почечной недостаточности у детей с врожденными пороками развития мочевыделительной системы // *Лечащий Врач*. – 2020. – Т. 9. – С. 7–10. Doi: 10.26295/OS.2020.69.90.001.
2. Чугунова О. Л., Иванов Д. О., Козлова Е. М. и др. Острое повреждение почек у новорожденных (проект клинических рекомендаций) // *Неонатология*. – 2019. – № 4. – С. 68.
3. Aboyans V., Tanguy B., Desormais I. et al. Prevalence of renal artery disease and its prognostic significance in patients undergoing coronary bypass grafting // *Am J Cardiol*. – 2014. – Vol. 114, № 7. – P. 1029–1034. Doi: 10.1016/j.amjcard.2014.07.011.
4. Andriani G., Persico A., Tursini S. et al. The renal-resistive index from the last 3 months of pregnancy to 6 months old // *BJU Int*. – 2001. – Vol. 87, № 6. – P. 562–564. Doi: 10.1046/j.1464-410x.2001.00085.x.
5. Blinder J. J., Goldstein S. L., Lee V. V. et al. Congenital heart surgery in infants: effects of acute kidney injury on outcomes // *J Thorac Cardiovasc Surg*. – 2012. – Vol. 143, № 2. – P. 368–74. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2011.06.021.

REFERENCES

1. Khmelevskaya I.G., Bets O.G., Arkhipova A.G. Risk factors and the likelihood of acute renal failure in children with congenital malformations of the urinary system. *Lechaschi Vrach*, 2020, no. 9, pp. 7–10. (In Russ.) Doi: 10.26295/OS.2020.69.90.001.
2. Chugunova O.L., Ivanov D.O., Kozlova E.M. et al. Acute renal injury in newborns (clinical practice guidelines project). *Neonatology*, 2019, no. 4, pp. 68.
3. Aboyans V., Tanguy B., Desormais I. et al. Prevalence of renal artery disease and its prognostic significance in patients undergoing coronary bypass grafting. *Am J Cardiol*, 2014, vol. 114, no. 7, pp. 1029–1034. Doi: 10.1016/j.amjcard.2014.07.011.
4. Andriani G., Persico A., Tursini S. et al. The renal-resistive index from the last 3 months of pregnancy to 6 months old. *BJU Int*, 2001, vol. 87, no. 6, pp. 562–564. Doi: 10.1046/j.1464-410x.2001.00085.x.
5. Blinder J.J., Goldstein S.L., Lee V.V. et al. Congenital heart surgery in infants: effects of acute kidney injury on outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, vol. 143, no. 2, pp. 368–74. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2011.06.021.

6. Bude R. O., DiPietro M. A., Platt J. F. et al. Age dependency of the renal resistive index in healthy children // *Radiology*. – 1992. – Vol. 184, № 2. – P. 469–473. Doi: 10.1148/radiology.184.2.1620850.
7. Darmon M., Schortgen F., Vargas F. et al. Diagnostic accuracy of Doppler renal resistive index for reversibility of acute kidney injury in critically ill patients // *Intensive Care Med*. – 2011. – Vol. 37, № 1. – P. 68–76. Doi: 10.1007/s00134-010-2050-y.
8. El-Sadek A. E., El-Gamasy M. A., Behiry E. G. et al. Plasma cystatin C versus renal resistive index as early predictors of acute kidney injury in critically ill neonates // *J Pediatr Urol*. – 2020. – Vol. 16, № 2. – P. 206.e1–206.e8. Doi: 10.1016/j.jpuro.2019.12.001.
9. Gaies M. G., Gurney J. G., Yen A. H. et al. Vasoactive-inotropic score as a predictor of morbidity and mortality in infants after cardiopulmonary bypass // *Pediatr Crit Care Med*. – 2010. – Vol. 11, № 2. – P. 234–238. Doi: 10.1097/PCC.0b013e3181b806fc.
10. Hertzberg D., Ceder S. L., Sartipy U. et al. Preoperative renal resistive index predicts risk of acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery // *J Cardiothorac Vasc Anesth*. – 2017. – Vol. 31, № 3. – P. 847–852. Doi: 10.1053/j.jvca.2016.10.006.
11. 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. – Vol. 124, № 1. – P. 97–104. Doi: 10.1067/mtc.2002.122311.
12. Kellum J. A., Lameire N., Aspelin P. et al. KDIGO clinical practice guideline for acute kidney injury // *Kidney International Supplements*. – 2012. – Vol. 2, № 1. – P. 1–138.
13. Keogan M. T., Kliever M. A., Hertzberg B. S. et al. Renal resistive indexes: variability in Doppler US measurement in a healthy population // *Radiology*. – 1996. – Vol. 199, № 1. – P. 165–169. Doi: 10.1148/radiology.199.1.8633141.
14. Kim S. H., Kim W. H., Choi B. I. et al. Duplex Doppler US in patients with medical renal disease: resistive index vs serum creatinine level // *Clin Radiol*. – 1992. – Vol. 45, № 2. – P. 85–87. Doi: 10.1016/s0009-9260(05)80060-1.
15. Lameire N., Hoste E. Reflections on the definition, classification, and diagnostic evaluation of acute renal failure // *Curr Opin Crit Care*. – 2004. – Vol. 10, № 6. – P. 468–475. Doi: 10.1097/01.ccx.0000144939.24897.71.
16. Lameire N., Van Biesen W., Vanholder R. Acute renal failure // *Lancet*. – 2005. – Vol. 365, № 9457. – P. 417–430. Doi: 10.1016/S0140-6736(05)17831-3.
17. Lerolle N., Guérot E., Faisy C. et al. Renal failure in septic shock: predictive value of Doppler-based renal arterial resistive index // *Intensive Care Med*. – 2006. – Vol. 32, № 10. – P. 1553–1559. Doi: 10.1007/s00134-006-0360-x.
18. Li S., Krawczeski C. D., Zappitelli M. et al. TRIBE-AKI Consortium. Incidence, risk factors, and outcomes of acute kidney injury after pediatric cardiac surgery: a prospective multicenter study // *Crit Care Med*. – 2011. – Vol. 39, № 6. – P. 1493–1499. Doi: 10.1097/CCM.0b013e31821201d3.
19. Marty P., Sztatnjc S., Ferre F. et al. Doppler renal resistive index for early detection of acute kidney injury after major orthopaedic surgery: a prospective observational study // *Eur J Anaesthesiol*. – 2015. – Vol. 32, № 1. – P. 37–43. Doi: 10.1097/EJA.0000000000000120.
20. Haitsma Mulier J. L. G., Rozemeijer S., Röttgering J. G. et al. Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study // *PLoS One*. – Vol. 13, № 6. – P. e0197967. Doi: 10.1371/journal.pone.0197967.
21. Ninet S., Schnell D., Dewitte A. et al. Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: A systematic review and meta-analysis // *J Crit Care*. – 2015. – Vol. 30, № 3. – P. 629–635. Doi: 10.1016/j.jcrc.2015.02.008.
22. Park M., Coca S. G., Nigwekar S. U. et al. Prevention and treatment of acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery: a systematic review // *Am J Nephrol*. – 2010. – Vol. 31, № 5. – P. 408–418. Doi: 10.1159/000296277.
23. Pedersen K. R., Povlsen J. V., Christensen S. et al. Risk factors for acute renal failure requiring dialysis after surgery for congenital heart disease in children // *Acta Anaesthesiol Scand*. – 2007. – Vol. 51, № 10. – P. 1344–1349. Doi: 10.1111/j.1399-6576.2007.01379.x.
24. Platt J. F. Duplex Doppler evaluation of native kidney dysfunction: obstructive and nonobstructive disease // *AJR Am J Roentgenol*. – 1992. – Vol. 158, № 5. – P. 1035–1042. Doi: 10.2214/ajr.158.5.1566663.
25. Platt J. F., Ellis J. H., Rubin J. M. Examination of native kidneys with duplex Doppler ultrasound // *Semin Ultrasound CT MR*. – 1991. – Vol. 12, № 4. – P. 308–318.
26. Platt J. F., Rubin J. M., Ellis J. H. et al. Duplex Doppler US of the kidney: differentiation of obstructive from nonobstructive dilatation // *Radiology*. – 1989. – Vol. 171, № 2. – P. 515–517. Doi: 10.1148/radiology.171.2.2649925.
6. Bude R.O., DiPietro M.A., Platt J.F. et al. Age dependency of the renal resistive index in healthy children. *Radiology*, 1992, vol. 184, no. 2, pp. 469–473. Doi: 10.1148/radiology.184.2.1620850.
7. Darmon M., Schortgen F., Vargas F. et al. Diagnostic accuracy of Doppler renal resistive index for reversibility of acute kidney injury in critically ill patients. *Intensive Care Med*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 68–76. Doi: 10.1007/s00134-010-2050-y.
8. El-Sadek A.E., El-Gamasy M.A., Behiry E.G. et al. Plasma cystatin C versus renal resistive index as early predictors of acute kidney injury in critically ill neonates. *J Pediatr Urol*, 2020, vol. 16, no. 2, pp. 206.e1–206.e8. Doi: 10.1016/j.jpuro.2019.12.001.
9. Gaies M.G., Gurney J.G., Yen A.H. et al. Vasoactive-inotropic score as a predictor of morbidity and mortality in infants after cardiopulmonary bypass. *Pediatr Crit Care Med*, 2010, vol. 11, no. 2, pp. 234–238. Doi: 10.1097/PCC.0b013e3181b806fc.
10. Hertzberg D., Ceder S.L., Sartipy U. et al. Preoperative renal resistive index predicts risk of acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, vol. 31, no. 3, pp. 847–852. Doi: 10.1053/j.jvca.2016.10.006.
11. 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, vol. 124, no. 1, pp. 97–104. Doi: 10.1067/mtc.2002.122311.
12. Kellum J.A., Lameire N., Aspelin P. et al. KDIGO clinical practice guideline for acute kidney injury. *Kidney International Supplements*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 1–138.
13. Keogan M.T., Kliever M.A., Hertzberg B.S. et al. Renal resistive indexes: variability in Doppler US measurement in a healthy population. *Radiology*, 1996, vol. 199, no. 1, pp. 165–169. Doi: 10.1148/radiology.199.1.8633141.
14. Kim S. H., Kim W. H., Choi B. I. et al. Duplex Doppler US in patients with medical renal disease: resistive index vs serum creatinine level. *Clin Radiol*, 1992, vol. 45, no. 2, pp. 85–87. Doi: 10.1016/s0009-9260(05)80060-1.
15. Lameire N., Hoste E. Reflections on the definition, classification, and diagnostic evaluation of acute renal failure. *Curr Opin Crit Care*, 2004, vol. 10, no. 6, pp. 468–475. Doi: 10.1097/01.ccx.0000144939.24897.71.
16. Lameire N., Van Biesen W., Vanholder R. Acute renal failure. *Lancet*, 2005, vol. 365, no. 9457, pp. 417–430. Doi: 10.1016/S0140-6736(05)17831-3.
17. Lerolle N., Guérot E., Faisy C. et al. Renal failure in septic shock: predictive value of Doppler-based renal arterial resistive index. *Intensive Care Med*, 2006, vol. 32, no. 10, pp. 1553–1559. Doi: 10.1007/s00134-006-0360-x.
18. Li S., Krawczeski C. D., Zappitelli M. et al. TRIBE-AKI Consortium. Incidence, risk factors, and outcomes of acute kidney injury after pediatric cardiac surgery: a prospective multicenter study. *Crit Care Med*, 2011, vol. 39, no. 6, pp. 1493–1499. Doi: 10.1097/CCM.0b013e31821201d3.
19. Marty P., Sztatnjc S., Ferre F. et al. Doppler renal resistive index for early detection of acute kidney injury after major orthopaedic surgery: a prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol*, 2015, vol. 32, no. 1, pp. 37–43. Doi: 10.1097/EJA.0000000000000120.
20. Haitsma Mulier J.L.G., Rozemeijer S., Röttgering J.G. et al. Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study. *PLoS One*, vol. 13, no. 6, pp. e0197967. Doi: 10.1371/journal.pone.0197967.
21. Ninet S., Schnell D., Dewitte A. et al. Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care*, 2015, vol. 30, no. 3, pp. 629–635. Doi: 10.1016/j.jcrc.2015.02.008.
22. Park M., Coca S.G., Nigwekar S.U. et al. Prevention and treatment of acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery: a systematic review. *Am J Nephrol*, 2010, vol. 31, no. 5, pp. 408–418. Doi: 10.1159/000296277.
23. Pedersen K.R., Povlsen J.V., Christensen S. et al. Risk factors for acute renal failure requiring dialysis after surgery for congenital heart disease in children. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2007, vol. 51, no. 10, pp. 1344–1349. Doi: 10.1111/j.1399-6576.2007.01379.x.
24. Platt J.F. Duplex Doppler evaluation of native kidney dysfunction: obstructive and nonobstructive disease. *AJR Am J Roentgenol*, 1992, vol. 158, no. 5, pp. 1035–1042. Doi: 10.2214/ajr.158.5.1566663.
25. Platt J.F., Ellis J.H., Rubin J.M. Examination of native kidneys with duplex Doppler ultrasound. *Semin Ultrasound CT MR*, 1991, vol. 12, no. 4, pp. 308–318.
26. Platt J.F., Rubin J.M., Ellis J.H. et al. Duplex Doppler US of the kidney: differentiation of obstructive from nonobstructive dilatation. *Radiology*, 1989, vol. 171, no. 2, pp. 515–517. Doi: 10.1148/radiology.171.2.2649925.

27. Schnell D., Deruddre S., Harrois A. et al. Renal resistive index better predicts the occurrence of acute kidney injury than cystatin C // *Shock*. – 2012. – Vol. 38, № 6. – P. 592–597. Doi: 10.1097/SHK.0b013e318271a39c.
28. Shaw A., Swaminathan M., Stafford-Smith M. Cardiac surgery-associated acute kidney injury: putting together the pieces of the puzzle // *Nephron Physiol*. – 2008. – Vol. 109, № 4. – P. 55–60. Doi: 10.1159/000142937.
29. Sutherland S. M., Ji J., Sheikhi F. H. et al. AKI in hospitalized children: epidemiology and clinical associations in a national cohort // *Clin J Am Soc Nephrol*. – 2013. – Vol. 8, № 10. – P. 1661–1669. Doi: 10.2215/CJN.00270113.
30. Tublin M. E., Bude R. O., Platt J. F. Review. The resistive index in renal Doppler sonography: where do we stand? // *AJR Am J Roentgenol*. – 2003. – Vol. 180, № 4. – P. 885–892. Doi: 10.2214/ajr.180.4.1800885.
31. Wu H. B., Qin H., Ma W. G. et al. Can renal resistive index predict acute kidney injury after acute type a aortic dissection repair? // *Ann Thorac Surg*. – 2017. – Vol. 104, № 5. – P. 1583–1589. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2017.03.057.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е. Н. Мешалкина» МЗ РФ, 630055, Россия, г. Новосибирск, ул. Речкуновская, д.15.

Сергеев Станислав Александрович

зав. отделением анестезиологии и реанимации для детей с палатами реанимации и интенсивной терапии.
E-mail: faustas@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8166-9424

Ломиворотов Владимир Владимирович

д-р мед. наук, профессор, член-корр. РАН, руководитель центра анестезиологии и реаниматологии.
E-mail: vvlom@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8591-6461

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Meshalkin National Medical Research Center,
15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, 630055, Russia

Sergeev Stanislav A.

Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care for Children with Resuscitation and Intensive Care Units.
E-mail: faustas@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8166-9424

Lomivorotov Vladimir V.

Dr. of Sci. (Med.), Professor, Corresponding member of RAS, Head of the Center of Anesthesiology and Intensive Care.
E-mail: vvlom@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8591-6461