

## Острое повреждение почек в кардиохирургии: определение, эпидемиология, исходы и социально-экономическая значимость

### Для корреспонденции:

Мария Леонидовна Дьякова,  
[prima.maria@mail.ru](mailto:prima.maria@mail.ru)

Поступила в редакцию 10 июля 2020 г.  
Исправлена 2 сентября 2020 г.  
Принята к печати 9 сентября 2020 г.

### Цитировать:

Каменщиков Н.О., Подоксенов Ю.К., Дьякова М.Л., Бойко А.М., Козлов Б.Н. Острое повреждение почек в кардиохирургии: определение, эпидемиология, исходы и социально-экономическая значимость. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2020;24(4):11-21. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-11-21>

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Финансирование

Исследование не имело финансовой поддержки.

### Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: Н.О. Каменщиков, Ю.К. Подоксенов, М.Л. Дьякова  
Сбор и анализ данных: Н.О. Каменщиков, А.М. Бойко, М.Л. Дьякова  
Написание статьи: Н.О. Каменщиков, М.Л. Дьякова, А.М. Бойко  
Исправление статьи: М.Л. Дьякова, Ю.К. Подоксенов  
Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

### ORCID ID

Н.О. Каменщиков, <https://orcid.org/0000-0003-4289-4439>

Ю.К. Подоксенов, <https://orcid.org/0000-0002-8939-2340>

М.Л. Дьякова, <https://orcid.org/0000-0001-9353-7234>

А.М. Бойко, <https://orcid.org/0000-0002-2408-8874>

Б.Н. Козлов, <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

© Н.О. Каменщиков, Ю.К. Подоксенов, М.Л. Дьякова, А.М. Бойко, Б.Н. Козлов, 2020  
Статья открытого доступа, распространяется по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

### Н.О. Каменщиков, Ю.К. Подоксенов, М.Л. Дьякова, А.М. Бойко, Б.Н. Козлов

Научно-исследовательский институт кардиологии, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Томский национальный исследовательский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация

Хирургическое вмешательство на открытом сердце в условиях искусственного кровообращения является предпочтительным методом у пациентов с клапанными пороками, осложненными формами ишемической болезни сердца и сочетанной патологии. Уровень периоперационной летальности при данных вмешательствах колеблется от 2 до 10 %. Ассоциированное с кардиохирургическим вмешательством острое повреждение почек является распространенным и серьезным осложнением, резко ухудшающим прогноз и результаты операций. По данным крупных исследований, заболеваемость острым повреждением почек в кардиохирургии сопоставима с заболеваемостью инфарктом миокарда с соответствующими неудовлетворительными исходами.

Введение в клиническую практику термина «острое повреждение почек», заменившего понятие «острая почечная недостаточность», произошло относительно недавно. Это позволило дать универсальное определение данному состоянию и унифицировать критерии диагностики и стратификации тяжести острой почечной дисфункции. В статье даны определения острого повреждения почек по критериям RIFLE, AKIN, KDIGO. Острое повреждение почек в кардиохирургии резко ухудшает краткосрочные результаты и отдаленные исходы и таким образом увеличивает экономические затраты на лечение пациентов. По некоторым данным, в промышленно развитых странах затраты здравоохранения, связанные с острым повреждением почек, оцениваются в 1 млрд долларов США. С острым повреждением почек ежегодно связано около 300 000 смертей, а также около 300 000 новых тяжелых случаев хронической болезни почек. Кумулятивные расходы, связанные с острым повреждением почек в кардиохирургии, не ограничиваются непосредственно периодом госпитализации, а являются пролонгированными и / или отсроченными. Данные пациенты требуют дополнительных финансовых затрат уже после выписки из стационара, что в очередной раз подчеркивает значимость этой проблемы в кардиохирургии.

Манифест острого повреждения почек в послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств приводит к росту числа внепочечных осложнений, снижению кратко- и долгосрочной выживаемости, повышению экономических затрат на госпитальном этапе и на лечение последствий в отдаленном периоде. Внедрение в клиническую практику единого определения кардиохирургического острого повреждения почек, согласно критериям KDIGO, позволит определить группы пациентов с высоким риском развития данной патологии и провести своевременные мероприятия по профилактике развития осложнений в послеоперационном периоде, что в свою очередь снизит риск развития осложнений у кардиохирургических больных.

**Ключевые слова:** исход; кардиохирургия; осложнение; острое повреждение почек; социально-экономическая значимость; эпидемиология

## Введение

Болезни системы кровообращения занимают первое место среди причин смертности в развитых странах [1]. Современные неинвазивные и малоинвазивные стратегии, в частности медикаментозная терапия и эндоваскулярные технологии, не позволяют в полной мере обеспечить адекватное лечение пациентов с клапанными пороками, осложненными формами ишемической болезни сердца и сочетанной патологии. Предпочтительным методом в лечении данных категорий пациентов является хирургическое вмешательство на открытом сердце в условиях искусственного кровообращения [2].

В целом уровень периоперационной летальности при данных вмешательствах колеблется от 2 до 10 % в зависимости от типа операции, тяжести дисфункции левого желудочка и коморбидности [3].

Несмотря на совершенствование хирургической техники вмешательств на открытом сердце, значительные успехи в области периоперационного обеспечения и технологический прогресс методики искусственного кровообращения, остается нерешенным целый ряд вопросов кардиоанестезиологии, в частности интраоперационная защита почек. Острое повреждение почек (ОПП), ассоциированное с кардиохирургическим вмешательством, является распространенным и серьезным осложнением, резко ухудшающим прогноз и результаты операций.

### Распространенность острого повреждения почек

Острое повреждение почек, ассоциированное с кардиохирургической операцией, — распространенное и опасное осложнение, которое трудно и несвоевременно диагностируется, особенно при субклиническом характере, и является причиной ухудшения исходов вмешательств. Анализ данных в общей популяции показывает, что заболеваемость ОПП варьирует от 140 до 2 880 случаев на 1 млн населения в год [4]. Неуклонно отмечается нарастание случаев диализ-зависимого ОПП [5]. По данным крупных исследований с хорошей репрезентативной выборкой, заболеваемость ОПП сопоставима с заболеваемостью инфарктом миокарда с соответствующими неудовлетворительными исходами [6]. Ассоциированная с ОПП летальность превышает суммарную смертность от рака предстательной железы, рака молочной железы, сердечной недостаточности,

а также сахарного диабета и его осложнений [7]. В отделениях реанимации и интенсивной терапии всех профилей чаще, чем в кардиохирургии, в послеоперационном периоде ОПП развивается только при потенциально фатальных критических состояниях: сепсисе и тяжелых пневмониях [8].

Даже рутинное в настоящее время аортокоронарное шунтирование может сопровождаться развитием ОПП в 54 % случаев [9], а при сочетанных вмешательствах, мультиклапанной хирургии, реконструктивных вмешательствах на аорте частота ОПП может возрасти до 70 % с потребностью в заместительной почечной терапии в 16 % случаев [10].

### Определение термина «острое повреждение почек»

Введение в клиническую практику термина «острое повреждение почек», заменившего понятие «острая почечная недостаточность», произошло в 2015 г. Это позволило дать универсальное определение данному состоянию, а также унифицировать критерии диагностики и стратификации тяжести острой почечной дисфункции. На момент формирования концепции ОПП в медицинской литературе существовало более 35 определений острой почечной недостаточности, что не позволяло сформировать картину распространения, стандартизировать лечебные вмешательства и дать объективную оценку результатам научных исследований по проблеме. Например, данные об эпидемиологии острой почечной недостаточности варьировали от 1 до 31 %, а летальность составляла от 19 до 83 % [11].

### Определение острого повреждения почек по критериям RIFLE

Первое унифицированное и широко используемое определение почечной дисфункции было сделано в 2004 г., когда в клиническую практику были внедрены критерии RIFLE: Risk (риск), Injury (повреждение), Failure (недостаточность), двум исходам — Loss (утрата функции) и End Stage Kidney Disease (терминальная почечная недостаточность) [12]. Данная классификация является результатом работы, созданной в 2000 г. по инициативе С. Ronco, J.A. Kellum и R. Mehta организацией Acute Dialysis Quality Initiative (инициатива по качеству диализного лечения), и позволила стандартизировать около 35 различных определений острой почечной недостаточности, существовавших

в научной медицинской литературе к тому времени [13]. Стандартизированные критерии RIFLE позволили разработать единую формулировку понятия и признаки стратификации тяжести почечной дисфункции и упорядочить данные по этой проблеме, что привело к единообразию в отчетности о частоте заболеваемости, диагностике и исходах. Это позволило клиническому пониманию значимости проблемы эволюционировать от размытого термина «острая почечная недостаточность» до более четкого определения повреждения почек как динамического, многогранного и неоднородного процесса [14].

Система критериев RIFLE оценена положительно для понимания прогноза у пациентов с острой дисфункцией почек, однако не была лишена недостатков. В частности, неясным оставалось место в клинической практике интенсивной терапии критериев R (риск) и E (терминальная почечная недостаточность), указанных в данной классификации. Существенным недостатком критериев RIFLE являлась недооценка небольших колебаний уровня сывороточного креатинина в послеоперационном периоде, при этом оказывающих значимое влияние на прогноз и исходы [15].

#### **Критерии AKIN для определения острого повреждения почек**

Группа экспертов различных специальностей Acute Kidney Injury Network (AKIN) в 2005 г. на основании более широкого понимания проблемы дисфункции почек предложила новую концепцию ОПП и внедрила его в рутинную клиническую практику [16]. Принятый термин «острое повреждение почек» подчеркивал потенциальную обратимость повреждения почек, а также акцентировал внимание клиницистов и исследователей на значимость минимальных изменений креатинина.

Концептуальная модель ОПП предполагает наличие предрасполагающих обстоятельств (факторов риска) с эволюцией под воздействием этиологической причины через ряд этапов от состояния физиологической нормы вплоть до летального исхода. Этот переход осуществляется через ряд этапов, многие из которых являются потенциально обратимыми. Данная этапность характерна для интервала от первых проявлений ОПП до развития экстраренальных осложнений. Неблагоприятные исходы не всегда определяются изолированно нарушением почечной функции, следовательно, почечную дисфункцию не-

обходимо рассматривать в контексте сложных патогенетических взаимосвязей повреждения различных органов и систем [17].

Острое повреждение почек, согласно критериям AKIN, определялось как быстрое снижение функции почек (в течение 48 ч), предполагающее нарастание абсолютных значений креатинина сыворотки крови на 26,5 мкмоль/л или более, относительное повышение концентрации креатинина, равное или превышающее 50 % (то есть в 1,5 раза) по сравнению с исходным уровнем, либо как документированная олигурия при диурезе менее 0,5 мл/кг/ч в течение 6 ч. Таким образом, согласно критериям AKIN, предлагалась стратификация ОПП на 3 степени тяжести в зависимости от концентрации креатинина в сыворотке крови и диуреза, поскольку данные параметры легко доступны для оценки, что обуславливает их рутинный анализ в отделениях интенсивной терапии (ОИТ). В противоположность этому величина скорости клубочковой фильтрации (СКФ) (клиренс креатинина) из критериев диагностики и стратификации тяжести ОПП была исключена [16].

#### **Определение острого повреждения почек группой экспертов KDIGO**

Дальнейшее развитие концепции ОПП связано с деятельностью международной группы экспертов Kidney Disease Improving Global Outcomes (KDIGO), которая предложила консенсусное определение, критерии диагностики и стратификацию тяжести ОПП. Данная классификация является общепринятой в мире и лежит в основе большинства разработанных национальных рекомендаций. Последняя модификация классификации ОПП выполнена в 2012 г. [18]. Предложенные критерии KDIGO широко используются врачами различных специальностей: реаниматологами, нефрологами, сердечно-сосудистыми хирургами и другими. Медицинская общественность рассматривает внедрение концепции ОПП в практическую работу системы национального здравоохранения как важный стратегический междисциплинарный подход к снижению общей смертности и заболеваемости хронической болезнью почек (ХБП) и сердечно-сосудистой патологией, а также увеличению продолжительности жизни населения и уменьшению расходов на госпитальное лечение осложнений острого нарушения функции почек [19].

Ассоциация нефрологов, Научное общество нефрологов, Ассоциация анестезиологов и реаниматологов и Национальное общество специалистов в области гемофереза и экстракорпоральной гемокоррекции Российской Федерации рекомендуют применять следующее консенсусное определение: ОПП — патологическое состояние, развивающееся в результате непосредственного острого воздействия ренальных и / или экстраренальных повреждающих факторов, продолжающееся до 7 сут. и характеризующееся быстрым (часы – дни) развитием признаков повреждения или дисфункции почек различной степени выраженности. В клинической практике рекомендовано использовать только классификацию KDIGO 2012 г. [20].

Широкое внедрение в клиническую практику дополнительных лабораторных методов исследования повреждения почек позволило идентифицировать 2 субгруппы в популяции пациентов с ОПП: первую — субклиническое ОПП в ситуациях органного повреждения, определяемую исключительно по лабораторным маркерам без аберраций СКФ, и вторую — ОПП со снижением почечной функции, соответствующую классическим критериям KDIGO [21]. Согласно современным представлениям о патофизиологии и эволюции периоперационного органного повреждения, даже субклиническое ОПП ассоциировано с осложненным течением послеоперационного периода, увеличением продолжительности лечения и финансовых затрат, а также ростом летальности у кардиохирургических пациентов [22; 23].

Рабочей группой KDIGO также отмечена важность восстановительного периода после эпизода ОПП для того, чтобы не упускать из вида пациентов высокого риска, в том числе с субклиническим повреждением, которое может приводить к рецидивам ОПП, что ухудшает течение восстановления вплоть до исхода в ХБП. Это послужило основанием к введению термина «острая болезнь почек» для отражения единства процессов в почках после повреждения с целью максимального восстановления их функциональных возможностей. Острая болезнь почек — патологическое состояние, не разрешившееся в срок до 7 сут. острого повреждения почек, продолжающееся от 7 до 90 сут. и характеризующееся персистенцией признаков повреждения почек или их дисфункцией различной степени выраженности (признаки ОПП 1-й ст. или выше, согласно критериям KDIGO) [22].

Клиническое значение выделения острой болезни почек состоит в том, что это позволило не только сделать концепцию патологического континуума повреждения почек завершённой, но и сконцентрировать внимание специалистов на более активном применении лечебных технологий с целью улучшения прогноза дисфункции. В частности, для определения траектории течения острой болезни почек и индивидуализированной оценки рисков рецидивов ОПП необходим динамический контроль биомаркеров повреждения почек, трендов СКФ и данных визуализирующих методик, например ультразвукового исследования почек [24].

Характерный коморбидный фон кардиохирургических пациентов, в частности исходная ХБП и сердечная недостаточность, делают их наиболее уязвимыми для развития ОПП по сравнению с общехирургической популяцией.

#### **Осложнения и летальность у пациентов с острым повреждением почек, ассоциированным с кардиохирургической операцией**

Острое повреждение почек, ассоциированное с кардиохирургической операцией, является чрезвычайно распространенным и серьезным осложнением и приводит к увеличению частоты госпитальных осложнений и летальности. Краткосрочные и непосредственные эффекты, связанные с дисфункцией почек, включают нарушения кислотно-основного и электролитного гомеостаза, уремию с эндотоксикозом и его последствиями, а также перегрузку объемом из-за задержки натрия и воды, что существенно утяжеляет течение раннего послеоперационного периода [25]. Развитие ОПП у пациентов в ОИТ кардиохирургического профиля ассоциировано с ростом частоты инфекционных осложнений, увеличением времени пребывания в ОИТ, продолжительности госпитализации, частоты повторных госпитализаций в стационар, увеличению 30 и 90-дневной летальности [26]. Указанные эффекты не зависят от степени тяжести ОПП и могут встречаться и при «субклинических» вариантах течения ОПП [26]. Летальность в течение 1 года после выписки из стационара у пациентов, перенесших ОПП в ОИТ, составила 23,2 % по сравнению с летальностью у интактных больных — 10,7 % [27]. Исследование B.G. Loef с соавт. показало 14-кратное увеличение госпитальной летальности и снижение отдаленной

выживаемости после кардиохирургических вмешательств в группе пациентов, у которых сывороточный креатинин повышался на 25 % от исходного уровня [28]. Указанная взаимосвязь не зависит от степени восстановления функции почек после выписки пациентов из стационара. При этом наблюдается четкая корреляционная связь между степенью тяжести ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией, и показателями среднесрочной и долгосрочной летальности [29–32]. Среди пациентов группы аортокоронарного шунтирования, у которых развилось ОПП 3-й ст. и потребовалась заместительная почечная терапия, 66 % умерли в течение 30 дней после вмешательства [33].

Десятилетняя выживаемость у пациентов с ОПП не превышает 44 % по сравнению с выживаемостью около 63 % в общей популяции кардиохирургических больных [29; 34]. Даже для 1-й ст. ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией, характерно увеличение долгосрочной летальности [35]. Указанные различия в долгосрочном прогнозе для пациентов с ОПП, ассоциированным с кардиохирургической операцией, сохраняются и у больных с полным восстановлением экскреторной функции почек при выписке из стационара [31; 36].

Важна для формирования прогноза при осложненном течении послеоперационного периода и продолжительность почечной дисфункции. С учетом продолжительности эпизода и периода восстановления классифицируют ОПП на транзиторное (разрешается в пределах 48 ч) и персистирующее (разрешается в пределах 48 ч – 7 сут.) [19; 37]. Независимо от стадии полное восстановление или стабилизация с отсутствием дальнейшего утяжеления дисфункции почек в течение 48–72 ч ассоциированы с лучшими клиническими исходами по сравнению с прогнозом пациентов с персистирующим ОПП [38]. Ранняя идентификация пациентов с персистирующим ОПП крайне важна для применения протоколов ведения и стратегий защиты пациентов с целью предотвращения дальнейшего усугубления ОПП и увеличения летальности [39].

Длительное персистирование ОПП после кардиохирургических операций также связано с увеличением госпитальной летальности (относительный риск 15,3 % для ОПП длительностью 7 дней и более по сравнению с 4,1 % для ОПП длительностью 1–2 дня) [40], а также приводит к снижению 5-летней выживаемости у кардиохирургических пациентов (относительный риск

3,40 % для ОПП длительностью 7 дней и более по сравнению с относительным риском 1,66 % для ОПП продолжительностью 1–2 дня) [40]. Наиболее значимым положительным предиктором однолетней выживаемости является динамика снижения сывороточного креатинина относительно максимальных значений в течение суток, выраженная в процентном соотношении [41].

Хроническая болезнь почек является сильным и независимым фактором риска развития, а также определяет прогноз послеоперационного острого повреждения почек. Хроническая болезнь почек является независимым предиктором внутрибольничной смертности и осложнений послеоперационного периода, при этом более тяжелые стадии ХБП напрямую связаны с ухудшением клинических исходов [42–44]. Среди 7 621 пациентов, перенесших кардиохирургические вмешательства (аортокоронарное шунтирование, клапанная хирургия или сочетанные вмешательства), соотношение рисков госпитальной летальности составили 1,45, 2,8 и 7,5 % для 2, 3 и 4-й ст. ХБП соответственно. В этой же категории пациентов соотношение рисков отдаленной летальности (с медианой в 42 мес.) для 2, 3 и 4-й ст. ХБП составили 1,2, 1,95 и 3,2 % соответственно [43]. У пациентов, которым планируется аортокоронарное шунтирование, предоперационное снижение расчетной СКФ на каждые 10 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> ассоциировано с увеличением периоперационной летальности на 35–43 % [45]. В этой популяции даже минимальный, в пределах диапазонов референтных значений, прирост концентрации сывороточного креатинина или снижение СКФ в предоперационном периоде связаны с повышением летальности, частоты инфекционных осложнений, потребности в заместительной почечной терапии и больших цереброваскулярных катастроф [46]. Выявлено, что пациенты с низкой величиной СКФ имели более высокий риск смерти, связанной с инфекцией [47]. Предоперационные показатели СКФ в группе пациентов, умерших в течение 1 года после кардиохирургических вмешательств, в среднем составляли менее 60 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> [48]. Увеличение сывороточного креатинина на каждые 88 мкмоль/л увеличивает риск развития послеоперационного ОПП в 4,8 раза [49]. Протеинурия, определяемая с помощью коэффициента альбумин/креатинин, более точно предсказывает прогрессирование ХБП, развитие кардиоваскулярных собы-

тий и отдаленную смертность после кардиохирургических операции, поэтому важно акцентировать внимание специалистов на исходное наличие неявного гломерулярно-тубулярного повреждения как предиктора послеоперационных осложнений даже при отсутствии дисфункции почек, оцениваемой по скорости клубочковой фильтрации [50].

Относительно недавно корреляционная связь между послеоперационным ОПП и высокими показателями смертности от сердечно-сосудистых причин была показана для кардиохирургической когорты пациентов [51]. Пациенты с предоперационным нарушением функции почек представляют группу повышенного риска развития послеоперационного ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией [33; 52]. Указанная взаимосвязь прослеживается у пациентов кардиохирургического профиля даже в случаях изолированной бессимптомной протеинурии без предоперационного снижения расчетной скорости клубочковой фильтрации [50; 53–57].

Риск развития комбинированной конечной точки крупных сердечно-сосудистых осложнений (инфаркт миокарда, инсульт, внезапная сердечная смерть) у пациентов с ОПП в послеоперационном периоде составляет 24,9 % по сравнению с относительным риском 12,1 % в популяции кардиохирургических пациентов без ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией [42; 58]. В послеоперационном периоде у 79 % пациентов с ОПП, ассоциированным с кардиохирургической операцией, развиваются различные осложнения, не связанные напрямую с почечной дисфункцией [59]. Долгосрочные наблюдения за пациентами демонстрируют увеличение частоты развития острой и хронической болезни почек, долгосрочного риска отторжения трансплантата, риска терминальной почечной недостаточности и смертности [60–62]. Указанная связь также не зависит от реверсии ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией, и восстановления почечной функции после выписки из стационара [28]. Риск ХБП после ОПП выше у пациентов с исходно нормальной СКФ, при этом вероятность формирования ХБП повышается при ОПП, ассоциированном с кардиохирургической операцией, тяжелых градаций [63]. Объединенные коэффициенты рисков ХБП и терминальной почечной недостаточности для пациентов с ОПП, ассоциированным с кардиохирургической операцией, составляют соответственно 8,8 и 3,1 [64].

У пациентов с диагностированным ОПП полное восстановление функции почек при выписке из стационара, оцениваемое по возвращению СКФ к дооперационным значениям, отмечается лишь в 56 % случаев [36]. Пациенты с тяжелым ОПП, ассоциированным с кардиохирургической операцией, в 80 % случаев требуют заместительной почечной терапии, при этом в данной когорте наблюдается наиболее высокий риск развития почечной дисфункции в отдаленном периоде, в большинстве случаев через 30 мес. после операции диагностируется ХБП 3-й и 4-й ст. [65]. Несмотря на высокие регенеративные возможности ОПП в послеоперационном периоде в педиатрической популяции в 10 % случаев сопряжено с формированием ХБП разных градаций [66]. Помимо того, что ХБП является независимым фактором сердечно-сосудистых катастроф, развитие сердечной недостаточности в отдаленном периоде после вмешательств также может приводить к прогрессированию почечной дисфункции [67; 68].

Прямая связь между манифестом ОПП и развитием ХБП в отдаленном периоде привела к разработке рекомендаций о продленном наблюдении таких пациентов в течение 90 сут. после инверсии клинических признаков и выработке персонализированных подходов в каждом случае [69].

### **Социально-экономическое значение острого повреждения почек, ассоциированного с кардиохирургической операцией**

Острое повреждение почек, ассоциированное с кардиохирургической операцией, представляется не только как серьезная медицинская проблема, но и является значимым фактором увеличения экономических расходов, связанных с лечением и последующей реабилитацией пациентов после кардиохирургических вмешательств. Острое повреждение почек, ассоциированное с кардиохирургической операцией, резко ухудшает краткосрочные результаты вмешательств и отдаленные исходы в сердечно-сосудистой хирургии и таким образом увеличивает экономические затраты на лечение пациентов [70].

Развитие ОПП приводит к увеличению времени пребывания пациентов в ОИТ и стационаре с пропорциональным ростом использования ресурсов и стоимости лечения. По экспертным оценкам эпизод ОПП в послеоперационном периоде приводит к сверхнормативным расходам около 7,5 тыс. долларов США за

госпитализацию. По некоторым данным, в промышленно развитых странах затраты здравоохранения, связанные с ОПП, оцениваются в 1 млрд долларов США. С ОПП ежегодно связано около 300 тыс. смертей, а также около 300 тыс. новых тяжелых случаев ХБП [71]. Кумулятивная стоимость госпитализации пациентов с ОПП, ассоциированным с кардиохирургической операцией, на 159 % превышает расходы на стандартное лечение. При этом самые высокие расходы на лечение демонстрируют умершие пациенты с ОПП, далее следуют выжившие пациенты с ОПП, самые низкие показатели стоимости лечения у пациентов без острого повреждения почек [17].

При исходной ХБП и реализации ОПП госпитальные расходы увеличиваются на 49 % и более, при этом скорректированная добавочная стоимость составляет 19,1 тыс. долларов США [72]. Манифестация ОПП в группе малоинвазивных кардиохирургических вмешательств трансортальной и трансапикальной имплантации аортального клапана также связана с ростом осложнений и финансовых затрат на послеоперационную реабилитацию пациентов [73; 74].

В Великобритании у пациентов с транскатетерной имплантацией аортального клапана ОПП относится к группе послеоперационных осложнений с самой высокой стоимостью. Острое повреждение почек, ассоциированное с кардиохирургической операцией, 3-й ст. после минимально инвазивных вмешательств приводило к дополнительным расходам, превосходящим по стоимости имплантацию второго клапана, обусловленного дислокацией первого устройства [73]. При этом в плане утяжеления прогноза развитие ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией, уступало только жизнеугрожающему кровотечению из места доступа. Аналогичные результаты в когорте применения тактики малоинвазивной кардиохирургии были получены в других странах. В частности, в США у пациентов с ОПП после транскатетерной имплантации аортального клапана время пребывания в стационаре возрастало в 2 раза, затраты на лечение увеличивались на 50 % [74].

Необходимо отметить, что кумулятивные расходы на ОПП, ассоциированное с кардиохирургической операцией, не ограничиваются непосредственно периодом госпитализации, а являются пролонгированными и / или отсроченными. Данные пациенты требуют дополнительных финансовых затрат уже после выписки

из стационара [34]. Как правило, кардиохирургическим пациентам, перенесшим ОПП, после выписки из стационара требуется диспансерное наблюдение и специализированные программы реабилитации, в том числе требующие круглосуточного наблюдения квалифицированными специалистами. Данные обстоятельства связаны с увеличением финансовых издержек, в том числе за счет самих пациентов, что не учитывается при обработке информации об исходах и формировании отчетов о качестве оказания специализированной кардиохирургической помощи [75].

## Выводы

Высокая частота развития ОПП после кардиохирургических вмешательств диктует разработку новых подходов к своевременной диагностике и профилактике развития данной патологии. Манифест ОПП в послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств приводит к росту числа внепочечных осложнений, снижению краткосрочной и долгосрочной выживаемости, повышению экономических затрат на госпитальный этап и лечение последствий в отдаленном периоде. Внедрение в клиническую практику единого определения ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией, согласно критериям KDIGO, позволит определить группы пациентов с высоким риском ОПП, ассоциированного с кардиохирургической операцией, и провести своевременные мероприятия по профилактике осложнений в послеоперационном периоде, что в свою очередь снизит их риск у кардиохирургических больных.

## Список литературы / References

1. Piccolo R., Giustino G., Mehran R., Windecker S. Stable coronary artery disease: revascularisation and invasive strategies. *Lancet*. 2015;386(9994):702-713. PMID: 26334162. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)61220-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)61220-X)
2. Benedetto U., Melina G., Angeloni E., Refice S., Roscitano A., Fiorani B., Di Nucci G.D., Sinatra R. Coronary artery bypass grafting versus drug-eluting stents in multivessel coronary disease. A meta-analysis on 24,268 patients. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;36(4):611-615. PMID: 19394857. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2009.03.012>
3. Nezić D. Differences in cardiac surgery mortality rates. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2017;51(3):609. PMID: 27789533. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw353>
4. Case J., Khan S., Khalid R., Khan A. Epidemiology of acute kidney injury in the intensive care unit. *Crit Care Res Pract*. 2013;2013:479730. <https://doi.org/10.1155/2013/479730>
5. Hsu C.-Y., McCulloch C.E., Fan D., Ordoñez J.D., Chertow G.M., Go A.S. Community-based incidence of acute renal failure. *Kidney Int*.

- 2007;72(2):208-212. PMID: 17507907, PMCID: PMC2673495. <https://doi.org/10.1038/sj.ki.5002297>
6. Piccinni P, Cruz D.N., Gramaticopolo S., Garzotto F., Dal Santo M., Aneloni G., Rocco M., Alessandri E., Giunta F., Michetti V., Iannuzzi M., Belluomo Anello C., Brienza N., Carlini M., Pelaia P., Gabbanelli V., Ronco C., NEFROINT Investigators. Prospective multicenter study on epidemiology of acute kidney injury in the ICU: a critical care nephrology Italian collaborative effort (NEFROINT). *Minerva Anesthesiol.* 2011;77(11):1072-1083. PMID: 21597441.
  7. Lewington A.J.P., Cerdá J., Mehta R.L. Raising awareness of Acute Kidney Injury: A global perspective of a silent killer. *Kidney Int.* 2013;84(3):457-467. PMID: 23636171, PMCID: PMC3758780. <https://doi.org/10.1038/ki.2013.153>
  8. Zeng X., McMahon G.M., Brunelli S.M., Bates D.W., Waikar S.S. Incidence, outcomes, and comparisons across definitions of AKI in hospitalized individuals. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2014;9(1):12-20. PMID: 24178971, PMCID: PMC3878695. <https://doi.org/10.2215/CJN.02730313>
  9. 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):339-352. PMID: 26599400, PMCID: PMC5040517. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000959>
  10. Lei C., Berra L., Rezoagli E., Yu B., Dong H., Yu S., Hou L., Chen M., Chen W., Wang H., Zheng Q., Shen J., Jin Z., Chen T., Zhao R., Christie E., Sabbisetti V.S., Nordio F., Bonventre J.V., Xiong L., Zapol W.M. Nitric oxide decreases acute kidney injury and stage 3 chronic kidney disease after cardiac surgery. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018;198(10):1279-1287. PMID: 29932345, PMCID: PMC6290943. <https://doi.org/10.1164/rccm.201710-2150OC>
  11. Hoste E.A.J., Clermont G., Kersten A., Venkataraman R., Angus D.C., De Bacquer D., Kellum J.A. RIFLE criteria for acute kidney injury are associated with hospital mortality in critically ill patients: a cohort analysis. *Crit Care.* 2006;10(3):R73. PMID: 16696865, PMCID: PMC1550961. <https://doi.org/10.1186/cc4915>
  12. Bellomo R., Ronco C., Kellum J.A., Mehta R.L., Palevsky P., Acute Dialysis Quality Initiative workgroup. Acute renal failure - definition, outcome measures, animal models, fluid therapy and information technology needs: The Second International Consensus Conference of the Acute Dialysis Quality Initiative (ADQI) Group. *Crit Care.* 2004;8(4):R204-R212. PMID: 15312219, PMCID: PMC522841. <https://doi.org/10.1186/cc2872>
  13. Ronco C., Kellum J.A., Mehta R. Acute dialysis quality initiative (ADQI). *Nephrol Dial Transplant.* 2001;16(8):1555-1558. PMID: 11477154. <https://doi.org/10.1093/ndt/16.8.1555>
  14. Goldstein S.L., Chawla L.S. Renal angina. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2010;5(5):943-949. PMID: 20299370. <https://doi.org/10.2215/CJN.07201009>
  15. Lassnigg A., Schmidlin D., Mouhieddine M., Bachmann L.M., Druml W., Bauer P., Hiesmayr M. Minimal changes of serum creatinine predict prognosis in patients after cardiothoracic surgery: A prospective cohort study. *J Am Soc Nephrol.* 2004;15:1597-1605. PMID: 15153571. <https://doi.org/10.1097/01.ASN.0000130340.93930.DD>
  16. Mehta R.L., Kellum J.A., Shah S.V., Molitoris B.A., Ronco C., Warnock D.G., Levin A., Acute Kidney Injury Network. Acute Kidney Injury Network: Report of an Initiative to Improve Outcomes in Acute Kidney Injury. *Crit Care.* 2007;11(2):R31. PMID: 17331245, PMCID: PMC2206446. <https://doi.org/10.1186/cc5713>
  17. Chertow G.M., Burdick E., Honour M., Bonventre J.V., Bates D.W. Acute kidney injury, mortality, length of stay, and costs in hospitalized patients. *J Am Soc Nephrol.* 2005;16(11):3365-3370. PMID: 16177006. <https://doi.org/10.1681/ASN.2004090740>
  18. Work Group Membership. *Kidney Int Suppl.* (2011). 2012;2(1):2. PMID: 25028631, PMCID: PMC4089660. <https://doi.org/10.1038/kisup.2012.2>
  19. Смирнов А.В., Румянцев А.Ш. Острое повреждение почек. Часть I (ПРОЕКТ, 2019 г.). *Нефрология.* 2020;24(1):67-95. [Smirnov A.V., Rumyantsev A.Sh. Acute kidney disease. Part I (PROJECT, 2019). *Nephrology (Saint-Petersburg).* 2020;24(1):67-95. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36485/1561-6274-2020-24-1-67-95>
  20. Смирнов А.В., Румянцев А.Ш. Острое повреждение почек. Часть II. *Нефрология.* 2020;24(2):96-128. [Smirnov A.V., Rumyantsev A.Sh. Acute kidney disease. Part II. *Nephrology (Saint-Petersburg).* 2020;24(2):96-128. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36485/1561-6274-2020-24-2-96-128>
  21. Cerdá J., Lameire N., Eggers P., Pannu N., Uchino S., Wang H., Bagga A., Levin A. Epidemiology of acute kidney injury. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2008;3(3):881-886. PMID: 18216347. <https://doi.org/10.2215/CJN.04961107>
  22. Kork F., Balzer F., Spies C.D., Wernecke K.D., Ginde A.A., Jankowski J., Eltzschig H.K. Minor postoperative increases of creatinine are associated with higher mortality and longer hospital length of stay in surgical patients. *Anesthesiology.* 2015;123(6):1301-1311. PMID: 26492475, PMCID: PMC4679549. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000891>
  23. Haase M., Devarajan P., Haase-Fielitz A., Bellomo R., Cruz D.N., Wagener G., Krawczeski C.D., Koynier J.L., Murray P., Zappitelli M., Goldstein S.L., Makris K., Ronco C., Martensson J., Martling C.-R., Venge P., Siew E., Ware L.B., Iikizler T.A., Mertens P.R. The outcome of neutrophil gelatinase-associated lipocalin-positive subclinical acute kidney injury: a multicenter pooled analysis of prospective studies. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57(17):1752-1761. PMID: 21511111, PMCID: PMC4866647. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.11.051>
  24. Полушин Ю.С., Соколов Д.В. Нарушение почечной функции у пациентов в критическом состоянии. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2018;15(5):54-64. [Polushin Y.S., Sokolov D.V. Kidney dysfunction in critically ill patients. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation.* 2018;15(5):54-64. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2018-15-5-54-64>
  25. Doyle J.F., Forni L.G. Acute kidney injury: short-term and long-term effects. *Crit Care.* 2016;20(1):188. PMID: 27373891, PMCID: PMC4931701. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1353-y>
  26. Bedford M., Stevens P.E., Wheeler T.W.K., Farmer C.K.T. What is the real impact of acute kidney injury? *BMC Nephrol.* 2014;15:95. PMID: 24952580, PMCID: PMC4079645. <https://doi.org/10.1186/1471-2369-15-95>
  27. Gammelager H., Christiansen C.F., Johansen M.B., Tonnesen E., Jespersen B., Sorensen H.T. One-year mortality among Danish intensive care patients with acute kidney injury: a cohort study. *Crit Care.* 2012;16(4):R124. PMID: 22789072, PMCID: PMC3580703. <https://doi.org/10.1186/cc11420>
  28. Loef B.G., Epema A.H., Smilde T.D., Henning R.H., Ebels T., Navis G., Stegeman C.A. Immediate postoperative renal function deterioration in cardiac surgical patients predicts in-hospital mortality and long-term survival. *J Am Soc Nephrol.* 2005;16(1):195-200. PMID: 15563558. <https://doi.org/10.1681/ASN.2003100875>
  29. Lafrance J.-P., Miller D.R. Acute kidney injury associates with increased long-term mortality. *J Am Soc Nephrol.* 2010;21(2):345-

352. PMID: 20019168, PMCID: PMC2834549. <https://doi.org/10.1681/ASN.2009060636>
30. Arnaoutakis G.J., Bihorac A., Martin T.D., Hess P.J. Jr, Klodell C.T., Ejaz A.A., Garvan C., Tribble C.G., Beaver T.M. RIFLE criteria for acute kidney injury in aortic arch surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2007;134(6):1554-1560. PMID: 18023682. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2007.08.039>
31. Xu J.-R., Zhu J.-M., Jiang J., Ding X.-Q., Fang Y., Shen B., Liu Z.-H., Zou J.-Z., Liu L., Wang C.-S., Ronco C., Liu H., Teng J. Risk factors for long-term mortality and progressive chronic kidney disease associated with acute kidney injury after cardiac surgery. *Medicine (Baltimore).* 2015;94(45):e2025. PMID: 26559305, PMCID: PMC4912299. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000002025>
32. Hu J., Chen R., Liu S., Yu X., Zou J., Ding X. Global incidence and outcomes of adult patients with acute kidney injury after cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2016;30(1):82-89. PMID: 26482484. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2015.06.017>
33. Machado M.N., Nakazone M.A., Maia L.N. Acute kidney injury based on KDIGO (Kidney Disease Improving Global Outcomes) criteria in patients with elevated baseline serum creatinine undergoing cardiac surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2014;29(3):299-307. PMID: 25372901, PMCID: PMC4412317. <https://doi.org/10.5935/1678-9741.20140049>
34. Hobson C.E., Yavas S., Segal M.S., Schold J.D., Tribble C.G., Layon A.J., Bihorac A. Acute kidney injury is associated with increased long-term mortality after cardiothoracic surgery. *Circulation.* 2009;119(18):2444-2453. PMID: 19398670. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.800011>
35. Dasta J.F., Kane-Gill S.L., Durtschi A.J., Pathak D.S., Kellum J.A. Costs and outcomes of acute kidney injury (AKI) following cardiac surgery. *Nephrol Dial Transplant.* 2008;23(6):1970-1974. PMID: 18178605. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfm908>
36. Bihorac A., Yavas S., Subbiah S., Hobson C.E., Schold J.D., Gabrielli A., Layon A.J., Segal M.S. Long-term risk of mortality and acute kidney injury during hospitalization after major surgery. *Ann Surg.* 2009;249(5):851-858. PMID: 19387314. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181a40a0b>
37. Kellum J.A. Persistent acute kidney injury. *Crit Care Med.* 2015;43(8):1785-1786. PMID: 26181122, PMCID: PMC4507291. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001102>
38. Kellum J.A., Sileanu F.E., Murugan R., Lucko N., Shaw A.D., Clermont G. Classifying AKI by urine output versus serum creatinine level. *J Am Soc Nephrol.* 2015;26(9):2231-2238. PMID: 25568178, PMCID: PMC4552117. <https://doi.org/10.1681/ASN.2014070724>
39. Korenkevych D., Ozrazgat-Baslanti T., Thottakkara P., Hobson C.E., Pardalos P., Momcilovic P., Bihorac A. The pattern of longitudinal change in serum creatinine and 90-day mortality after major surgery. *Ann Surg.* 2016;263(6):1219-1227. PMID: 26181482, PMCID: PMC4829495. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001362>
40. Brown J.R., Kramer R.S., Coca S.G., Parikh C.R. Duration of acute kidney injury impacts long-term survival after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg.* 2010;90(4):1142-1148. PMID: 20868804, PMCID: PMC3819730. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.04.039>
41. Swaminathan M., Hudson C.C.C., Phillips-Bute B.G., Patel U.D., Mathew J.P., Newman M.F., Milano C.A., Shaw A.D., Stafford-Smith M. Impact of early renal recovery on survival after cardiac surgery-associated acute kidney injury. *Ann Thorac Surg.* 2010;89(4):1098-1104. PMID: 20338313. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2009.12.018>
42. Litmathe J., Kurt M., Feindt P., Gams E., Boeken U. The impact of pre- and postoperative renal dysfunction on outcome of patients undergoing coronary artery bypass grafting (CABG). *Thorac Cardiovasc Surg.* 2009;57(8):460-463. PMID: 20013618. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1185877>
43. Howell N.J., Keogh B.E., Bonser R.S., Graham T.R., Mascaro J., Rooney S.J., Wilson I.C., Pagano D. Mild renal dysfunction predicts in-hospital mortality and post-discharge survival following cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2008;34(2):390-395. PMID: 18502144. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2008.04.017>
44. Charytan D.M., Yang S.S., McGurk S., Rawn J. Long and short-term outcomes following coronary artery bypass grafting in patients with and without chronic kidney disease. *Nephrol Dial Transplant.* 2010;25(11):3654-3663. PMID: 20551089. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfq328>
45. Hedley A.J., Roberts M.A., Hayward P.A., Shaw M., Matalanis G., Buxton B.F., Farouque O., Ierino F.L. Impact of chronic kidney disease on patient outcome following cardiac surgery. *Heart Lung Circ.* 2010;19(8):453-459. PMID: 20418160. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2010.03.005>
46. Shavit L., Tauber R., Lifschitz M., Bitran D., Slotki I., Fink D. Influence of minimal changes in preoperative renal function on outcomes of cardiac surgery. *Kidney Blood Press Res.* 2012;35(6):400-406. PMID: 22555290. <https://doi.org/10.1159/000335950>
47. Lenihan C.R., Montez-Rath M.E., Mora Mangano C.T., Chertow G.M., Winkelmayer W.C. Trends in acute kidney injury, associated use of dialysis, and mortality after cardiac surgery, 1999 to 2008. *Ann Thorac Surg.* 2013;95(1):20-28. PMID: 23272825, PMCID: PMC4115367. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2012.05.131>
48. Lagny M.-G., Jouret F., Koch J.-N., Blaffart F., Donneau A.-F., Albert A., Roediger L., Krzesinski J.-M., Defraigne J.-O. Incidence and outcomes of acute kidney injury after cardiac surgery using either criteria of the RIFLE classification. *BMC Nephrol.* 2015;16:76. PMID: 26025079, PMCID: PMC4448315. <https://doi.org/10.1186/s12882-015-0066-9>
49. Gaffney A.M., Sladen R.N. Acute kidney injury in cardiac surgery. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2015;28(1):50-59. PMID: 25486486. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000154>
50. Kuo Y.-T., Chiu K.-M., Tsang Y.-M., Chiu C.-M., Chien M.-Y. Influence of chronic kidney disease on physical function and quality of life in patients after coronary artery bypass grafting. *Cardiorenal Med.* 2015;5(4):237-245. PMID: 26648940, PMCID: PMC4662289. <https://doi.org/10.1159/000433447>
51. Ozrazgat-Baslanti T., Thottakkara P., Huber M., Berg K., Gravenstein N., Tighe P., Lipori G., Segal M.S., Hobson C., Bihorac A. Acute and chronic kidney disease and cardiovascular mortality after major surgery. *Ann Surg.* 2016;264(6):987-996. PMID: 26756753, PMCID: PMC4936961. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001582>
52. Hougard J.-M., Reverez P., Pourcelet A., Oumeiri B.E., Racapé J., Le Moine A., Vanden Eynden F., De Backer D. Chronic kidney disease as major determinant of the renal risk related to on-pump cardiac surgery: a single-center cohort study. *Acta Chir Belg.* 2016;116(4):217-224. PMID: 27426658. <https://doi.org/10.1080/0015458.2016.1156929>
53. Huang T.M., Wu V.C., Young G.H., Lin Y.F., Shiao C.C., Wu P.C., Li W.Y., Yu H.Y., Hu F.C., Lin J.W., Chen Y.S., Lin Y.H., Wang S.S., Hsu R.B., Chang F.C., Chou N.K., Chu T.S., Yeh Y.C., Tsai P.R., Huang J.W., Lin S.L., Chen Y.M., Ko W.J., Wu K.D.; National Taiwan University Hospital Study Group of Acute Renal Failure. Preoperative proteinuria predicts adverse renal outcomes after coronary artery bypass grafting.

- J Am Soc Nephrol.* 2011;22(1):156-163. PMID: 21115618, PMCID: PMC3014044. <https://doi.org/10.1681/ASN.2010050553>
54. Li S.-Y., Chuang C.-L., Yang W.-C., Lin S.-J. Proteinuria predicts postcardiotomy acute kidney injury in patients with preserved glomerular filtration rate. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;149(3):894-9. PMID: 25433643. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.10.054>
  55. Grams M.E., Astor B.C., Bash L.D., Matsushita K., Wang Y., Coresh J. Albuminuria and estimated glomerular filtration rate independently associate with acute kidney injury. *J Am Soc Nephrol.* 2010;21(10):1757-1764. PMID: 20671214, PMCID: PMC3013549. <https://doi.org/10.1681/ASN.2010010128>
  56. Coca S.G., Jammalamadaka D., Sint K., Thiessen Philbrook H., Shlipak M.G., Zappitelli M., Devarajan P., Hashim S., Garg A.X., Parikh C.R.; Translational Research Investigating Biomarker Endpoints in Acute Kidney Injury Consortium. Preoperative proteinuria predicts acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2012;143(2):495-502. PMID: 22050987, PMCID: PMC3341084. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2011.09.023>
  57. Valdez G.D., Mihos C.G., Santana O., Heimowitz T.B., Goldszer R., Lamas G.A., Lamelas J. Incidence of postoperative acute kidney injury in patients with chronic kidney disease undergoing minimally invasive valve surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;146(6):1488-1493. PMID: 23972261. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2013.06.034>
  58. Hansen M.K., Gammelager H., Jacobsen C.-J., Hjortdal V.E., Layton J.B., Rasmussen B.S., Andreassen J.J., Johnsen S.P., Christiansen C.F. Acute kidney injury and long-term risk of cardiovascular events after cardiac surgery: a population-based cohort study. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2015;29(3):617-625. PMID: 25575408. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2014.08.020>
  59. Hobson C., Ozrazgat-Baslantı T., Kuxhausen A., Thottakkara P., Efron P.A., Moore F.A., Moldawer L.L., Segal M.S., Bihorac A. Cost and mortality associated with postoperative acute kidney injury. *Ann Surg.* 2015;261(6):1207-1214. PMID: 24887982, PMCID: PMC4247993. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000732>
  60. Gallagher M., Cass A., Bellomo R., Finfer S., Gattas D., Lee J., Lo S., McGuinness S., Myburgh J., Parke R., Rajbhandari D., POST-RENAL Study Investigators and the ANZICS Clinical Trials Group. Long-term survival and dialysis dependency following acute kidney injury in intensive care: extended follow-up of a randomized controlled trial. *PLoS Med.* 2014;11(2):e1001601. PMID: 24523666, PMCID: PMC3921111. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001601>
  61. Goldberg R., Dennen P. Long-term outcomes of acute kidney injury. *Adv Chronic Kidney Dis.* 2008;15(3):297-307. PMID: 18565480. <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2008.04.009>
  62. Kolonko A., Chudek J., Pawlik A., Wilk J., Jałowicki P., Więcek A. Acute kidney injury before organ procurement is associated with worse long-term kidney graft outcome. *Transplant Proc.* 2011;43(8):2871-2874. PMID: 21996176. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2011.07.017>
  63. Rydén L., Sartipy U., Evans M., Holzmann M.J. Acute kidney injury after coronary artery bypass grafting and long-term risk of end-stage renal disease. *Circulation.* 2014;130(23):2005-2011. PMID: 25239439. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.010622>
  64. Coca S.G., Singanamala S., Parikh C.R. Chronic kidney disease after acute kidney injury: a systematic review and meta-analysis. *Kidney Int.* 2012;81(5):442-448. PMID: 22113526, PMCID: PMC3788581. <https://doi.org/10.1038/ki.2011.379>
  65. Duran P.A., Concepcion L.A. Survival after acute kidney injury requiring dialysis: long-term follow up. *Hemodial Int.* 2014;18 Suppl 1:S1-S6. PMID: 25330825. <https://doi.org/10.1111/hdi.12216>
  66. Mammen C., Al Abbas A., Skippen P., Nadel H., Levine D., Collet J.P., Matsell D.G. Long-term risk of CKD in children surviving episodes of acute kidney injury in the intensive care unit: a prospective cohort study. *Am J Kidney Dis.* 2012;59(4):523-530. PMID: 22206744. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2011.10.048>
  67. Ninomiya T., Kiyohara Y., Kubo M., Tanizaki Y., Doi Y., Okubo K., Wakugawa Y., Hata J., Oishi Y., Shikata K., Yonemoto K., Hirakata H., Iida M. Chronic kidney disease and cardiovascular disease in a general Japanese population: the Hisayama Study. *Kidney Int.* 2005;68(1):228-236. PMID: 15954912. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1755.2005.00397.x>
  68. Lee J., Bae E.H., Ma S.K., Kim S.W. Altered nitric oxide system in cardiovascular and renal diseases. *Chonnam Med J.* 2016;52(2):81-90. PMID: 27231671, PMCID: PMC4880583. <https://doi.org/10.4068/cmj.2016.52.2.81>
  69. Monseu M., Gand E., Saulnier P.-J., Ragot S., Piguel X., Zaoui P., Rigalleau V., Marechaud R., Roussel R., Hadjadj S., Halimi J.-M., SURDIAGENE Study Group. Acute kidney injury predicts major adverse outcomes in diabetes: synergic impact with low glomerular filtration rate and albuminuria. *Diabetes Care.* 2015;38(12):2333-2340. PMID: 26512039. <https://doi.org/10.2337/dc15-1222>
  70. Khuri S.F., Henderson W.G., DePalma R.G., Mosca C., Healey N.A., Kumbhani D.J., Participants in the VA National Surgical Quality Improvement Program. Determinants of long-term survival after major surgery and the adverse effect of postoperative complications. *Ann Surg.* 2005;242(3):326-341. PMID: 16135919, PMCID: PMC1357741. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000179621.33268.83>
  71. Kashani K., Shao M., Li G., Williams A.W., Rule A.D., Kremers W.K., Malinchoc M., Gajic O., Lieske J.C. No increase in the incidence of acute kidney injury in a population-based annual temporal trends epidemiology study. *Kidney Int.* 2017;92(3):721-728. PMID: 28528131, PMCID: PMC5761670. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2017.03.020>
  72. Huber M., Ozrazgat-Baslantı T., Thottakkara P., Efron P.A., Feezor R., Hobson C., Bihorac A. Mortality and cost of acute and chronic kidney disease after vascular surgery. *Ann Vasc Surg.* 2016;30:72-81.e1-2. PMID: 26187703, PMCID: PMC4691411. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2015.04.092>
  73. Gutmann A., Kaier K., Sorg S., von Zur Mühlen C., Siepe M., Moser M., Geibel A., Zirlik A., Ahrens I., Baumbach H., Beyersdorf F., Vach W., Zehender M., Bode C., Reinöhl J. Analysis of the additional costs of clinical complications in patients undergoing transcatheter aortic valve replacement in the German Health Care System. *Int J Cardiol.* 2015;179:231-237. PMID: 25464455. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.11.095>
  74. Kong W.Y., Yong G., Irish A. Incidence, risk factors and prognosis of acute kidney injury after transcatheter aortic valve implantation. *Nephrology (Carlton).* 2012;17(5):445-451. PMID: 22390156. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1797.2012.01593.x>
  75. Hoste E.A.J., De Corte W. Clinical consequences of acute kidney injury. *Contrib Nephrol.* 2011;174:56-64. PMID: 21921609. <https://doi.org/10.1159/000329236>

## Acute kidney injury in cardiac surgery: definition, epidemiology, outcomes and socio-economic significance

**Nikolay O. Kamenshchikov, Yury K. Podoksenov, Mariia L. Diakova, Alexandr M. Boyko, Boris N. Kozlov**

Cardiology Research Institute, Tomsk, Russian Federation

**Corresponding author.** Mariia L. Diakova, [prima.maria@mail.ru](mailto:prima.maria@mail.ru)

Surgical intervention on an 'open' heart during cardio-pulmonary bypass is the method of choice for patients with valvular defects, complicated forms of coronary heart disease and combined pathology. The level of perioperative mortality in these interventions range from 2 % to 10 %. Acute kidney injury associated with cardiac surgery is a common and serious complication which dramatically worsens operative prognoses and results. According to several major studies, the incidence of acute renal injury in cardiac surgery is comparable with the incidence of myocardial infarction, with corresponding unsatisfactory outcomes.

The introduction of the term 'acute kidney injury' into clinical practise, replacing the concept of acute renal failure, occurred relatively recently. This facilitated a universal definition for this condition, and unified the criteria for diagnosis and stratification of acute renal dysfunction severity. The article defines acute kidney injury using RIFLE, AKIN and KDIGO criteria. Acute kidney injury in cardiac surgery dramatically worsens short-term results and long-term outcomes, and thus increases the economic cost of treating patients. According to some reports, in industrialised countries, the health costs associated with acute kidney injury are estimated at \$ 1 billion. Acute kidney injury is associated with approximately 300,000 deaths per annum, as well as approximately 300,000 new cases of chronic kidney disease. Cumulative expenses associated with acute renal injury in cardiac surgery are not directly limited to the hospitalisation period, but are often prolonged and/or deferred. These patients require additional financial expenses after discharge from hospital, which once again exemplifies this problem in cardiac surgery.

Manifest acute kidney injury in the postoperative period of cardiac surgery leads to an increased number of extrarenal complications, reduced short-and long-term survival rates, increased economic costs in hospitals and prolonged treatment effects in the long-term. The introduction of a single definition of cardiac acute renal injury according to KDIGO criteria into clinical practise will identify patient groups with a high risk of developing this pathology. Similarly, it will also facilitate timely measures to prevent the development of complications in postoperative periods, which will reduce the risk of complications in cardiac patients.

**Keywords:** acute kidney injury; cardiac surgery; complications; epidemiology; outcomes; socio-economic significance

Received 10 July 2020. Revised 2 September 2020. Accepted 9 September 2020.

**Funding:** The study did not have sponsorship.

**Conflict of interest:** Authors declare no conflict of interest.

### Author contributions

Conception and design: N.O. Kamenshchikov, Y.K. Podoksenov, M.L. Diakova

Data collection and analysis: N.O. Kamenshchikov, A.M. Boyko, M.L. Diakova

Drafting the article: N.O. Kamenshchikov, M.L. Diakova, A.M. Boyko

Critical revision of the article: M.L. Diakova, Y.K. Podoksenov

Final approval of the version to be published: N.O. Kamenshchikov, Y.K. Podoksenov, M.L. Diakova, A.M. Boyko, B.N. Kozlov

### ORCID ID

N.O. Kamenshchikov, <https://orcid.org/0000-0003-4289-4439>

Y.K. Podoksenov, <https://orcid.org/0000-0002-8939-2340>

M.L. Diakova, <https://orcid.org/0000-0001-9353-7234>

A.M. Boyko, <https://orcid.org/0000-0002-2408-8874>

B.N. Kozlov, <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

**Copyright:** © 2020 Kamenshchikov et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**How to cite:** Kamenshchikov N.O., Podoksenov Y.K., Diakova M.L., Boyko A.M., Kozlov B.N. Acute kidney injury in cardiac surgery: definition, epidemiology, outcomes and socio-economic significance. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2020;24(4):11-21. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-11-21>