



ОПЫТ БЕСФЛЮОРОСКОПИЧЕСКОЙ ИМПЛАНТАЦИИ СТЕНТОВ В СОННУЮ АРТЕРИЮ ПОД КОНТРОЛЕМ ВСУЗИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

**А.Ю. Колесников, А.А. Арнт, А.Р. Шабаев, Ю.А. Кудрявцева, А.А. Михайлова,
Н.А. Кочергин**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», бульвар имени академика Л.С. Барбараши, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650002

Основные положения

- Контрастиндуцированная нефропатия – серьезное осложнение эндоваскулярных вмешательств, возникающее из-за введения контрастного вещества. Распространенность нефропатии достигает 30%, а эффективных методов лечения на сегодняшний день не существует.
- В исследовании предложена методика стентирования с использованием чрескожного и внутрисосудистого ультразвукового контроля, полностью исключающая применение контрастного вещества и флюороскопии, что позволяет избежать риска развития контрастиндуцированной нефропатии.
- Использование внутрисосудистого ультразвука взамен стандартной ангиографии потенциально позволяет сократить или полностью исключить рентгеноскопию и введение контрастного вещества при стентировании.

Цель

Оценить результаты стентирования с использованием внутрисосудистого ультразвукового исследования (ВСУЗИ) без применения контрастного вещества и флюороскопии в эксперименте на животных.

Материалы и методы

Шести овцам эдильбаевской породы под наркозом и контролем чрескожного ультразвукового исследования выполнены пункция общей сонной артерии и установка интродьюсера 6F. После системной гепаринизации (2 500 ЕД) заведены коронарный проводник и датчик ВСУЗИ для оценки референсного диаметра сосуда и подбора оптимального размера стента. Параллельно датчику ВСУЗИ дистальнее заведен стент на 0,5–1,0 см. После позиционирования под контролем чрескожного и внутрисосудистого УЗИ имплантирован стент в общую сонную артерию. При мальпозиции и/или недораскрытии стента выполнена постдилатация баллонном из-под стента (14–16 атм.) с повторной оценкой результата. Овцам имплантированы коронарные balloon-расширяемые стенты размером 5 × 8 или 4,5 × 10 мм.

Результаты

Во всех случаях достигнуто оптимальное раскрытие стента, участков мальпозиции или диссекции не выявлено. В послеоперационном периоде всем животным назначена двойная антиагрегантная терапия. По данным контрольного УЗИ через 3 мес. после вмешательства стенты проходимы.

Заключение

Предложенная методика бесфлюороскопического стентирования потенциально может снизить или исключить необходимость рентгеноскопии и введения контрастного вещества при стентировании периферических артерий. Данная методика показала безопасность и эффективность в эксперименте на животных, однако требует проведения клинических исследований.

Ключевые слова

Внутрисосудистое ультразвуковое исследование • Контраст-индуцированная нефропатия • Флюороскопия • Стентирование.

Поступила в редакцию: 20.09.2025; поступила после доработки: 13.10.2025; принята к печати: 02.11.2025

Для корреспонденции: Алексей Юрьевич Колесников, inobi05@yandex.ru; адрес: бульвар имени академика Л.С. Барбараши, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650002

Corresponding author: Alexey Yu. Kolesnikov, inobi05@yandex.ru; address: 6, blvd. named after academician L.S. Barbarash, Kemerovo, Russian Federation, 650002

AN EXPERIMENT WITHOUT CONTRAST IMPLANTATION OF STENTS INTO THE CAROTID ARTERY OF SHEEP UNDER THE CONTROL OF IVUS IN AN EXPERIMENT

**A.Yu. Kolesnikov, A.A. Arnt, A.R. Shabaev, Yu.A. Kudryavceva, A.A. Mikhaylova,
N.A. Kochergin**

Federal State Budgetary Institution "Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases", 6, blvd. named after academician L.S. Barbarash, Kemerovo, Russian Federation, 650002

Highlights

- Contrast induced nephropathy is a serious complication of endovascular procedures caused by the administration of contrast media; its incidence reaches 30 %, and no effective treatments for contrast induced nephropathy currently exist.
- The study proposes an innovative stenting technique using external and intravascular ultrasound guidance that completely eliminates the use of contrast media and fluoroscopy, thereby avoiding the risk of developing contrast induced nephropathy.
- The use of intravascular ultrasound as a substitute for conventional angiography has the potential to reduce or completely eliminate the need for fluoroscopy and contrast media during stenting; this technique has demonstrated safety and efficacy, but requires further clinical research.

Aim

To develop a technique for contrast-free and fluoroscopic stenting in an experiment using intravascular ultrasound.

Methods

In the experiment, six healthy sheep of the Edilbaev's breed, under general anesthesia and under the control of percutaneous ultrasound, underwent puncture of the common carotid artery. After systemic heparinization (2 500 units), a IVUS sensor was installed to assess the reference diameter of the vessel and select the required stent size. In parallel to the sensor, the stent is placed 0.5–1.0 cm distally. After positioning, the IVUS sensor was inserted into a conductive catheter for further monitoring. The stent was implanted with a nominal pressure (9–10 atm), after which the IVUS was monitored, and when a malformation was detected, postdilation with a balloon from under the stent (14–16 atm.) was performed with a re-evaluation of the result. Coronary balloon-expandable stents were implanted in sheep, sizes 5 × 8 mm and 4.5 × 10 mm were used.

Results

Suturing of the puncture site was performed using an Angio-seal device. In the postoperative period, all animals were prescribed double antiplatelet therapy. On a control ultrasound 3 months after stenting, the stents are passable.

Conclusion

The problem of reducing the fluoroscopy time and the amount of contrast used remains one of the most urgent today. The use of IVUS, as a replacement for the usual angiography, can potentially lead to a decrease or even complete absence of X-ray and CA during stenting. The technique demonstrated above has shown its safety and viability. However, this methodology requires further clinical studies.

Keywords

Contrast-induced nephropathy • Intravascular ultrasound • Fluoroscopy • Stenting

Received: 20.09.2025; received in revised form: 13.10.2025; accepted: 02.11.2025

Список сокращений

ВСУЗИ – внутрисосудистое ультразвуковое исследование

КИН – ультразвуковое исследование
УЗИ – контрастиндуцированная нефропатия

Введение

Атеросклероз – комплексное мультифакториальное заболевание, включающее множество клинических вариантов течения, таких как стенокардия, инфаркт миокарда, инсульт и хроническая артериальная недостаточность конечностей [1]. Инфаркт миокарда

и инсульт являются наиболее частыми причинами смерти пациентов с атеросклеротическим поражением сосудов во всем мире [2]. В целом ишемической болезнью сердца страдают более 244 млн человек [3]. Хирургическое лечение пациентов с атеросклеротическим поражением сводится к реваскуляризации.

На сегодняшний день используют как «открытые» (шунтирование и протезирование сосудов), так и эндоваскулярные методики. Интервенционные способы лечения остаются предпочтительными, так как характеризуются малой инвазивностью и быстрой реабилитацией больных, однако требуют введения контрастного вещества и флюороскопического контроля, которые обеспечивают визуализацию [4].

Наиболее распространенным осложнением эндоваскулярного вмешательства служит контрастноиндуцированная нефропатия (КИН), приводящая к снижению функции почек через 48–72 ч после операции. КИН определяется при повышении сывороточного креатинина на $\geq 26,5$ мкмоль/л, или более чем на 25% от исходного уровня [5]. Доля КИН варьирует от 0,6 до 2,3% у пациентов без ранее диагностированной почечной недостаточности и возрастает до 30% при наличии таких факторов риска, как пожилой возраст, сахарный диабет, ранее существовавшая почечная дисфункция, а также сердечная недостаточность [6]. КИН ассоциирована с ростом частоты развития неблагоприятных событий, увеличивает финансовые затраты и время пребывания пациентов в стационаре [5].

Хотя распространенность КИН зависит от сопутствующей патологии, объем контрастного вещества является основным фактором, способствующим развитию нефропатии независимо от исходного состояния пациента [7].

На сегодняшний день специфических методов лечения КИН не существует [8]. Тактика ведения пациентов направлена на профилактику как до, так и во время операции [5]. Профилактические меры включают адекватную гидратацию перед вмешательством, использование низкоосмолярных контрастных веществ во время процедуры, а также минимизацию их объема [4].

Необходимость сокращения продолжительности рентгеноскопии и, соответственно, лучевой нагрузки, а также количества контраста остается актуальной задачей рентгеноэндоваскулярной хирургии. Воздействие ионизирующего излучения и постоянная необходимость использования специализированных средств индивидуальной защиты (тяжелый свинцовый фартук) связаны с развитием неблагоприятных событий среди медицинского персонала, включая нарушения опорно-двигательного аппарата, образование катараракты, репродуктивную дисфункцию и повышение риска развития злокачественных новообразований. Кроме того, вмешательства под флюороскопическим контролем противопоказаны при беременности [9].

Внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ) обеспечивает достаточное пространственное разрешение и глубину проникновения для визуализации артерий. С помощью ВСУЗИ оператор получает изображение стенки сосуда, что по-

зволяет подобрать оптимальный стент и оценить результаты стентирования. Применение ВСУЗИ во время вмешательства способно минимизировать объем контрастного вещества, а также может быть дополнением к рентгеноскопическому контролю стентирования [10].

Цель исследования – оценить результаты стентирования с использованием чрескожного и внутрисосудистого ультразвука без применения контрастного вещества и флюороскопии в эксперименте на животных.

Материалы и методы

Представленное пилотное исследование одобрено локальным этическим комитетом НИИ КПССЗ (протокол № 1 от 26.01.2024г.). У шести овец эдильбаевской породы, выбранных для участия в данном эксперименте, отсутствовали атеросклеротические поражения сонных артерий.

Результаты

Под наркозом и контролем чрескожного ультразвукового исследования (УЗИ) выполнена пункция общей сонной артерии с установкой интродьюсера 6F. После системного введения гепарина (2 500 ЕД) заведен коронарный проводник с датчиком ВСУЗИ для оценки референсного диаметра сосуда (рис. 1) и подбора необходимого размера стента (в соответствии с диаметром медиального слоя общей сонной артерии).

Далее под контролем УЗИ заведен дополнительный коронарный проводник со стентом. Как только проксимальная кромка стента была видна на ВСУЗИ, датчик вручную был подтянут к интродьюсеру (рис. 2).

После позиционирования под контролем чрескожного и внутрисосудистого УЗИ в общую сонную артерию имплантированы коронарные баллонно-расширяемые стенты размером 5×8 или $4,5 \times 10$ мм. При мальпозиции и/или недораскрытии стента проведена постдилатация баллоном из-под стента (14–16 атм.) с повторной оценкой результата. Методом ВСУЗИ оценены площадь раскрытия, аппозиция, а также наличие диссекций. Во всех случаях до-

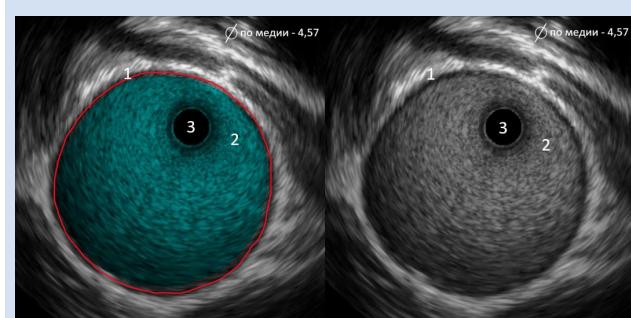


Рисунок 1. ВСУЗИ перед имплантацией стента (1 – медиа сосуда, 2 – сосудистый просвет, 3 – датчик ВСУЗИ в просвете сосуда)

Figure 1. IVUS Before Stent Implantation (1 – vascular media, 2 – vascular lumen, 3 – IVUS probe in the vessel lumen)

стигнуто оптимальное раскрытие стента, участков мальпозиций или диссекций не выявлено (рис. 3).

Ушивание места пункции проведено с использованием устройства Angio-Seal (Terumo, Япония).

В послеоперационном периоде всем животным назначена двойная дезагрегантная терапия, состоявшая из приема клопидогрела и ацетилсалicyловой кислоты в течение 6 мес. с момента имплантации стента. По данным контрольного УЗИ (через 3 мес. после вмешательства) стенты проходимы (рис. 4). В послеоперационном периоде тромбозов, гематом и инфекционных осложнений не зарегистрировано.

Обсуждение

В исследовании использована овечья модель, в наибольшей степени подходящая для тестирования сердечно-сосудистых имплантатов *in vivo*, так как позволяет моделировать наихудший случай вследствие повышенной склонности сосудов овец к кальцификации, а крови – к гиперкоагуляции. Помимо этого, овцы считаются оптимальной животной моделью для оценки роста, проходимости, эндотелизации, тромбозистентности и постимплантационной визуализации сердечно-сосудистых изделий [11, 12]. Представленная нами методика может служить альтернативным способом визуализации при стентировании периферических артерий, не требующим введения контрастного вещества и флюороскопического контроля.

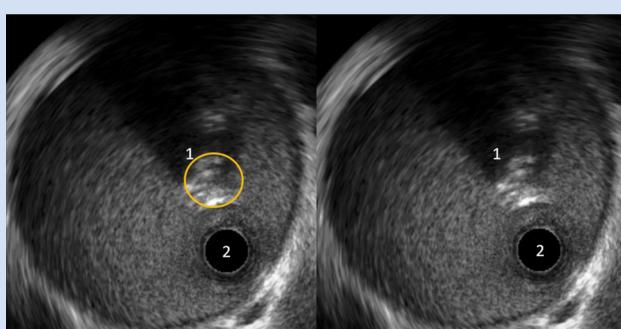


Рисунок 2. Расположение стента (1) по отношению к датчику ВСУЗИ (2) при его позиционировании

Figure 2. Stent positioning (1) relative to the IVUS probe (2) during stent placement

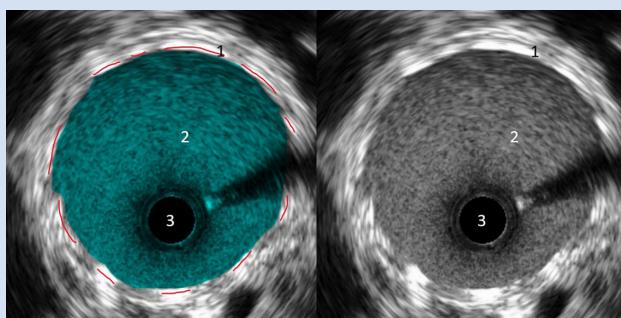


Рисунок 3. ВСУЗИ после имплантации стента, оптимальный результат (1 – страты стента, 2 – просвет сосуда, 3 – датчик ВСУЗИ)

Figure 3. IVUS after stent implantation: optimal result (1 – stent struts; 2 – vascular lumen; 3 – IVUS probe)

Стентирование под контролем ангиографии остается «золотым стандартом» лечения, однако требует введения контрастного вещества, которое может привести к развитию КИН. Это особенно актуально для пациентов с хронической болезнью почек. ВСУЗИ является альтернативным инструментом оценки поражения до вмешательства и результатов стентирования [13]. J. Zhang и соавт. оценена безопасность и эффективность имплантации стентов под контролем ВСУЗИ в сравнении со стандартной ангиографией у пациентов с хронической болезнью почек. В исследование вошли 1 443 пациента, из которых 723 было выполнено чрескожное коронарное вмешательство под контролем ВСУЗИ, а 720 – стентирование под ангиографическим контролем. Первичной конечной точкой исследования явилась недостаточность целевого сосуда через 12 мес.: инфаркт миокарда, внезапная сердечная смерть и повторная реваскуляризация целевого сосуда. Установлено, что использование ВСУЗИ способствовало значительному снижению риска недостаточности целевого сосуда [14]. Однако в данной работе не был оценен риск возникновения КИН в послеоперационном периоде.

Исследование MOZART включало сравнение результатов чрескожного коронарного вмешательства под контролем ангиографии и стентирования с использованием ВСУЗИ. Целью работы было оценить влияние ВСУЗИ на конечный объем контрастного вещества у пациентов, перенесших чрескожное коронарное вмешательство. Включенные в исследование больные (83 человека), которые были рандомизированы на две группы с учетом метода контроля вмешательства. В обеих группах проведена гидратационная терапия. Ограничения в объеме использования контрастного вещества в обеих группах отсутствовали. Так, использование ВСУЗИ демонстрировало значительное снижение объема контрастного вещества

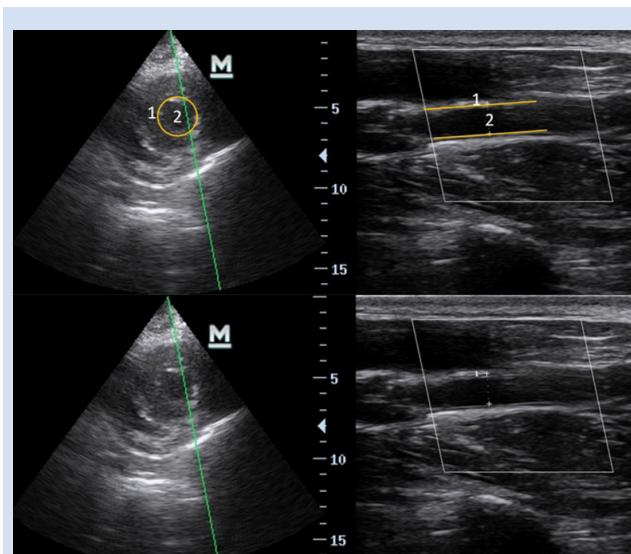


Рисунок 4. Данные чрескожного УЗИ через 3 мес. после стентирования (1 – стент, 2 – просвет сосуда)

Figure 4. External ultrasound findings 3 months after stenting (1 – stent, 2 – vascular lumen)

(средний объем 20 мл) по сравнению с ангиографией (средний объем 64,5 мл). Также было подтверждено, что с уменьшением объема контрастного вещества частота развития КИН снижается [7, 15].

В 2023 г. было выполнено успешное чрескожное коронарное вмешательство под контролем ВСУЗИ пациенту с сахарным диабетом 2-го типа и скоростью клубочковой фильтрации 29 мл/мин с использованием минимального объема КВ (12 мл). Продемонстрировано, что ВСУЗИ в дополнение к ангиографии способствовало предотвращению развития КИН [16]. Основными недостатками представленного случая явились необходимость введения контрастного вещества и использование флюороскопического контроля.

В 2020 г. группа ученых во главе с M. Nair представенный единственный случай стентирования без использования флюороскопии. Пациенту 42 лет было выполнено чрескожное коронарное вмешательство с минимальным объемом контрастного вещества (15 мл) без рентгеноскопического контроля. Основным методом визуализации послужила электроанатомическая картографическая система (NavX™). Процедура прошла без осложнений [17]. На примере этого случая ученые продемонстрировали, что выполнение стентирования возможно не только под контролем флюороскопии, однако введение контрастного вещества оказалось необходимым.

Заключение

Использование ВСУЗИ вместо стандартной ангиографии потенциально позволяет снизить или даже

исключить необходимость рентгеноскопии и введение контрастного вещества при стентировании. Продемонстрированная методика показала безопасность и эффективность в эксперименте на животных, однако требует проведения клинических исследований.

Конфликт интересов

А.Ю. Колесников заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.А. Арнт заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Р. Шабаев заявляет об отсутствии конфликта интересов. Ю.А. Кудрявцева входит в редакционную коллегию журнала «Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний». А.А. Михайлова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Н.А. Кочергин заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований РАН в рамках фундаментальной темы НИИ КПССЗ № 0419-2022-0003 «Разработка новых изделий медицинского назначения для сердечно-сосудистой хирургии. Переход к персонализированной медицине и высокотехнологичному здравоохранению. Создание системы обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках национального проекта «Наука и университеты».

Информация об авторах

Колесников Алексей Юрьевич, младший научный сотрудник лаборатории тканевой инженерии и внутрисосудистой визуализации отдела хирургии сердца и сосудов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-6247-1287

Арнт Анастасия Андреевна, младший научный сотрудник лаборатории тканевой инженерии и внутрисосудистой визуализации отдела хирургии сердца и сосудов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-2438-0506

Шабаев Амин Рашитович, младший научный сотрудник лаборатории клеточных технологий отдела экспериментальной медицины федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-9734-8462

Кудрявцева Юлия Александровна, доктор медицинских наук главный научный сотрудник отдела экспериментальной медицины федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-6134-7468

Author Information Form

Kolesnikov Alexey Yu., Junior Researcher at the Laboratory of Tissue Engineering and Intravascular Imaging, Department of Heart and Vascular Surgery, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-6247-1287

Arnt Anastasia A., Junior Researcher at the Laboratory of Tissue Engineering and Intravascular Imaging, Department of Heart and Vascular Surgery, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-2438-0506

Shabaev Amin R., Junior Researcher at the Laboratory of Cellular Technologies, Department of Experimental Medicine, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-9734-8462

Kudryavtseva Yulia A., PhD, MD, Chief Researcher, Department of Experimental Medicine, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-6134-7468

Михайлова Алена Александровна, младший научный сотрудник лаборатории анестезиологии-реаниматологии и патофизиологии критических состояний отдела хирургии сердца и сосудов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; ORCID 0000-0003-0246-3466

Кочергин Никита Александрович, кандидат медицинских наук заведующий лабораторией лаборатории тканевой инженерии и внутрисосудистой визуализации отдела хирургии сердца и сосудов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-1534-264X

Вклад авторов в статью

КАЮ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

AAA – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ШАР – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

КЮА – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

МА4 – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

КНА – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Mikhailova Alyona A., Junior Researcher at the Laboratory of Anesthesiology, Intensive Care and Pathophysiology of Critical Conditions, Department of Heart and Vascular Surgery, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; ORCID 0000-0003-0246-3466

Kochergin Nikita A., PhD, Head of the Laboratory of Tissue Engineering and Intravascular Imaging, Department of Heart and Vascular Surgery, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; ORCID 0000-0002-1534-264X

Author Contribution Statement

КАЮ – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

AAA – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

ШАР – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

КЮА – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

МА4 – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

КНА – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Zhang F, Lu Z, Wang F. Advances in the pathogenesis and prevention of contrast-induced nephropathy. *Life Sci.* 2020 Oct 15;259:118379. doi: 10.1016/j.lfs.2020.118379. Epub 2020 Sep 3. PMID: 32890604.
- Rundback JH, Nahl D, Yoo V. Contrast-induced nephropathy. *J Vasc Surg.* 2011 Aug;54(2):575-9. doi: 10.1016/j.jvs.2011.04.047. Epub 2011 Jul 13. PMID: 21741789.
- Novak JE, Handa R. Contrast Nephropathy Associated with Percutaneous Coronary Angiography and Intervention. *Cardiol Clin.* 2019 Aug;37(3):287-296. doi: 10.1016/j.ccl.2019.04.004. Epub 2019 May 9. PMID: 31279422.
- Wojtasinska A, Frąk W, Lisińska W, Sapeda N, Mlynarska E, Rysz J, Franczyk B. Novel Insights into the Molecular Mechanisms of Atherosclerosis. *Int J Mol Sci.* 2023 Aug 30;24(17):13434. doi: 10.3390/ijms241713434. PMID: 37686238; PMCID: PMC10487483.
- Björkengren JLM, Lusis AJ. Atherosclerosis: Recent developments. *Cell.* 2022 May 12;185(10):1630-1645. doi: 10.1016/j.cell.2022.04.004. Epub 2022 May 2. PMID: 35504280; PMCID: PMC9119695.
- McCullough PA, Choi JP, Feghali GA, Schussler JM, Stoler RM, Vallabahn RC, Mehta A. Contrast-Induced Acute Kidney Injury. *J Am Coll Cardiol.* 2016 Sep 27;68(13):1465-1473. doi: 10.1016/j.jacc.2016.05.099. PMID: 27659469.
- Mariani J Jr, Guedes C, Soares P, Zalc S, Campos CM, Lopes AC, Spadaro AG, Perin MA, Filho AE, Takimura CK, Ribeiro E, Kalil-Filho R, Edelman ER, Serruys PW, Lemos PA. Intravascular ultrasound guidance to minimize the use of iodine contrast in percutaneous coronary intervention: the MOZART (Minimizing cOntrast utiliZation With IVUS Guidance in coRonary angioplasty) randomized controlled trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2014 Nov;7(11):1287-93. doi: 10.1016/j.jcin.2014.05.024. Epub 2014 Oct 15. PMID: 25326742; PMCID: PMC4637944.
- Zager RA, Johnson AC, Hanson SY. Radiographic contrast media-induced tubular injury: evaluation of oxidant stress and plasma membrane integrity. *Kidney Int.* 2003 Jul;64(1):128-39. doi: 10.1046/j.1523-1755.2003.00059.x. PMID: 12787403.
- Sbruzzi G, Quadros AS, Ribeiro RA, Abelin AP, Berwanger O, Plentz RD, Schann BD. Intracoronary ultrasound-guided stenting improves outcomes: a meta-analysis of randomized trials. *Arq Bras Cardiol.* 2012 Jan;98(1):35-44. English, Portuguese, Spanish. doi: 10.1590/s0066-782x2011005000118. Epub 2011 Dec 13. Erratum in: *Arq Bras Cardiol.* 2012 Jan;98(1):1. PMID: 22328316.
- G.J. Dugbartey, A.N. Redington, Prevention of contrast-induced nephropathy by limb ischemic preconditioning: underlying mechanisms and clinical effects, *Am J Physiol Renal Physiol* 314 (3) (2018) F319–f328, <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00130.2017>.

11. Thomas LV, Lekshmi V, Nair PD. Tissue engineered vascular grafts – preclinical aspects. *Int J Cardiol.* 2013; 167 (4): 1091–1100. PMID: 23040078. doi: 10.1016/j.ijcard.2012.09.069.
12. Swartz DD, Andreadis ST. Animal models for vascular tissue-engineering. *Curr Opin Biotechnol.* 2013; 24 (5): 916–925. doi: 10.1016/j.copbio.2013.05.005. PMID: 23769861.
13. Hibi K, Kimura K, Umemura S. Clinical utility and significance of intravascular ultrasound and optical coherence tomography in guiding percutaneous coronary interventions. *Circ J.* 2015;79(1):24-33. doi: 10.1253/circj.CJ-14-1044. Epub 2014 Dec 19. PMID: 25744628.
14. Zhang J, Gao X, Ge Z, Han L, Lu S, Qian X, Li Q, Lu Q, Chen C, Chen SL; ULTIMATE Investigators. Impact of intravascular ultrasound-guided drug-eluting stent implantation on patients with chronic kidney disease: Results from ULTIMATE trial. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2019 Jun 1;93(7):1184-1193. doi: 10.1002/ccd.28308. Epub 2019 May 22. PMID: 31116913.
15. Кочергин Н.А., Ганюков В.И. Рандомизированное исследование превентивной реваскуляризации нестабильных бляшек коронарных артерий у больных хронической ишемической болезнью сердца. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2019;8(4S):104-110. doi 10.17802/2306-1278-2019-8-4S-104-110
16. Васильев Д.К., Руденко Б.А., Фещенко Д.А., Шукров Ф.Б., Шаноян А.С. Клинический случай стентирования коронарной артерии под контролем ВСУЗИ у больного с хронической почечной недостаточностью. Креативная хирургия и онкология. 2023;13(4):342–347. doi: 10.24060/2076-3093-2023-13-4-342-347
17. Nair M, Singal G, Yaduvanshi A, Kataria V. First in man: percutaneous coronary angioplasty using non-fluoroscopic electro-anatomic mapping. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2020 Jul;36(7):1189-1190. doi: 10.1007/s10554-020-01830-8. Epub 2020 Mar 31. PMID: 32236907.

REFERENCES

1. Zhang F, Lu Z, Wang F. Advances in the pathogenesis and prevention of contrast-induced nephropathy. *Life Sci.* 2020 Oct 15;259:118379. doi: 10.1016/j.lfs.2020.118379. Epub 2020 Sep 3. PMID: 32890604.
2. Rundback JH, Nahl D, Yoo V. Contrast-induced nephropathy. *J Vasc Surg.* 2011 Aug;54(2):575-9. doi: 10.1016/j.jvs.2011.04.047. Epub 2011 Jul 13. PMID: 21741789.
3. Novak JE, Handa R. Contrast Nephropathy Associated with Percutaneous Coronary Angiography and Intervention. *Cardiol Clin.* 2019 Aug;37(3):287-296. doi: 10.1016/j.ccl.2019.04.004. Epub 2019 May 9. PMID: 31279422.
4. Wojtasinska A, Frąk W, Lisińska W, Sapeda N, Mlynarska E, Rysz J, Franczyk B. Novel Insights into the Molecular Mechanisms of Atherosclerosis. *Int J Mol Sci.* 2023 Aug 30;24(17):13434. doi: 10.3390/ijms241713434. PMID: 37686238; PMCID: PMC10487483.
5. Björkegren JLM, Lusis AJ. Atherosclerosis: Recent developments. *Cell.* 2022 May 12;185(10):1630-1645. doi: 10.1016/j.cell.2022.04.004. Epub 2022 May 2. PMID: 35504280; PMCID: PMC9119695.
6. McCullough PA, Choi JP, Feghali GA, Schussler JM, Stoler RM, Vallabahn RC, Mehta A. Contrast-Induced Acute Kidney Injury. *J Am Coll Cardiol.* 2016 Sep 27;68(13):1465-1473. doi: 10.1016/j.jacc.2016.05.099. PMID: 27659469.
7. Mariani J Jr, Guedes C, Soares P, Zalc S, Campos CM, Lopes AC, Spadaro AG, Perin MA, Filho AE, Takimura CK, Ribeiro E, Kalil-Filho R, Edelman ER, Serruys PW, Lemos PA. Intravascular ultrasound guidance to minimize the use of iodine contrast in percutaneous coronary intervention: the MOZART (Minimizing cOntrast utiliZation With IVUS Guidance in coRonary angioplasTy) randomized controlled trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2014 Nov;7(11):1287-93. doi: 10.1016/j.jcin.2014.05.024. Epub 2014 Oct 15. PMID: 25326742; PMCID: PMC4637944.
8. Zager RA, Johnson AC, Hanson SY. Radiographic contrast media-induced tubular injury: evaluation of oxidant stress and plasma membrane integrity. *Kidney Int.* 2003 Jul;64(1):128-39. doi: 10.1046/j.1523-1755.2003.00059.x. PMID: 12787403.
9. Sbruzzi G, Quadros AS, Ribeiro RA, Abelin AP, Berwanger O, Plentz RD, Schann BD. Intracoronary ultrasound-guided stenting improves outcomes: a meta-analysis of randomized trials. *Arq Bras Cardiol.* 2012 Jan;98(1):35-44. English, Portuguese, Spanish. doi: 10.1590/s0066-782x2011005000118. Epub 2011 Dec 13. Erratum in: *Arq Bras Cardiol.* 2012 Jan;98(1):1. PMID: 22328316.
10. G.J. Dubbarte, A.N. Redington, Prevention of contrast-induced nephropathy by limb ischemic preconditioning: underlying mechanisms and clinical effects, *Am J Physiol Renal Physiol* 314 (3) (2018) F319–f328, <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00130.2017>.
11. Thomas LV, Lekshmi V, Nair PD. Tissue engineered vascular grafts – preclinical aspects. *Int J Cardiol.* 2013; 167 (4): 1091–1100. PMID: 23040078. doi: 10.1016/j.ijcard.2012.09.069.
12. Swartz DD, Andreadis ST. Animal models for vascular tissue-engineering. *Curr Opin Biotechnol.* 2013; 24 (5): 916–925. doi: 10.1016/j.copbio.2013.05.005. PMID: 23769861.
13. Hibi K, Kimura K, Umemura S. Clinical utility and significance of intravascular ultrasound and optical coherence tomography in guiding percutaneous coronary interventions. *Circ J.* 2015;79(1):24-33. doi: 10.1253/circj.CJ-14-1044. Epub 2014 Dec 19. PMID: 25744628.
14. Zhang J, Gao X, Ge Z, Han L, Lu S, Qian X, Li Q, Lu Q, Chen C, Chen SL; ULTIMATE Investigators. Impact of intravascular ultrasound-guided drug-eluting stent implantation on patients with chronic kidney disease: Results from ULTIMATE trial. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2019 Jun 1;93(7):1184-1193. doi: 10.1002/ccd.28308. Epub 2019 May 22. PMID: 31116913.
15. Kochergin N.A., Ganyukov V.I. A randomized study of preventive revascularization of unstable coronary artery plaques in patients with chronic ischemic heart disease. Complex Issues of Cardiovascular Diseases 2019;8(4S):104-110 (In Russ). doi 10.17802/2306-1278-2019-8-4S-104-110
16. Vasiliev D.K., Rudenko B.A., Feshchenko D.A., Shukrov F.B., Shanoyan A.S. A clinical case of coronary artery stenting under IVUS guidance in a patient with chronic renal failure. Creative Surgery and Oncology. 2023;13(4):342–347. doi: 10.24060/2076-3093-2023-13-4-342-347 (In Russ)
17. Nair M, Singal G, Yaduvanshi A, Kataria V. First in man: percutaneous coronary angioplasty using non-fluoroscopic electro-anatomic mapping. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2020 Jul;36(7):1189-1190. doi: 10.1007/s10554-020-01830-8. Epub 2020 Mar 31. PMID: 32236907.

Для цитирования: Колесников А.Ю., Арнт А.А., Шабаев А.Р., Кудрявцева Ю.А., Михайлова А.А., Кочергин Н.А. Опыт бесфлюороскопической имплантации стентов в сонную артерию под контролем ВСУЗИ в эксперименте. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2025;14(6): 194-200. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-6-194-200

To cite: Kolesnikov A.Yu., Arnt A.A., Shabaev A.R., Kudryavceva Yu.A., Mikhaylova A.A., Kochergin N.A. An experiment without contrast implantation of stents into the carotid artery of sheep under the control of IVUS in an experiment. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2025;14(6): 194-200. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-6-194-200