

Закеряев Аслан Бубаевич

**Оптимизация результатов бедренно-подколенного шунтирования при
окклюзионном поражении артерий нижних конечностей**

3.1.15. Сердечно-сосудистая хирургия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Краснодар – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, доцент **Виноградов Роман Александрович**

Официальные оппоненты:

Чупин Андрей Валерьевич, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, отделение сосудистой хирургии имени академика А.В. Покровского, заведующий отделением

Аракелян Валерий Сергеевич, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации, отдел хирургии артериальной патологии, руководитель отдела

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится «___» _____ 2026 года в ___ часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.078.02, созданного на базе ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России по адресу: 390026 г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России (390026, г. Рязань, ул. Шевченко, д. 34, корп. 2) и на сайте www.rzgmu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
объединенного диссертационного совета,
доктор медицинских наук, доцент

Н.Д. Мжаванадзе

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Проблема окклюзионно-стенотических поражений бедренно-подколенного сегмента всегда находилась в центре внимания сосудистых хирургов. Разработка методов реконструктивных вмешательств, изучение и апробация различных способов реваскуляризации нижних конечностей ранее побуждали медицинское сообщество к совершенствованию существующих технологий (Суковатых Б.С. и соавт., 2019, Гавриленко А.В. и соавт., 2018). Несмотря на это и на активное внедрение эндоваскулярных технологий, открытые шунтирующие операции до сих пор являются основным методом хирургического лечения пациентов с распространённым тяжелым облитерирующим поражением бедренной и подколенной артерий (Guntani A., 2024, Perlander A. et al., 2023).

Бедренно-подколенное шунтирование (БПШ) – операция выбора при наличии протяженного атеросклеротического поражения бедренно-подколенного сегмента. Широкий выбор шунтов для реализации данного вида реконструкции позволяет в значительной степени достигнуть оптимального исхода реваскуляризации. При этом успех БПШ зависит в первую очередь от длительности функционирования имплантируемого кондуита. Большая подкожная вена (БПВ) характеризуется наибольшими показателями сроков функционирования, а значит, и качества жизни пациентов (Кохан Е.П. и соавт., 2013, Крепкогорский Н. В. и соавт., 2015). На сегодняшний день активнее всего используются два вида аутовенозных трансплантатов: реверсированная БПВ и БПВ, подготовленная методом *in situ* (Крепкогорский Н. В. и соавт., 2020). В случае отсутствия подходящей БПВ применяются такие аналоги, как аутовена верхней конечности, синтетические и биологические протезы (Kluckner, M. et al., 2024). К сожалению, перечисленные виды БПВ имеют ряд недостатков. В отсутствие большой подкожной вены подходящего размера, выбор материала для шунтирования представляет существенные сложности для сосудистого хирурга, приводит к необходимости использования синтетических протезов

либо выполнения технически сложных реваскуляризации.

Таким образом, разработка новых и определение оптимальных способов подготовки БПВ для БПШ является крайне актуальной задачей.

Цель исследования

Улучшить результаты бедренно-подколенного шунтирования у пациентов с протяженным атеросклеротическим стено-окклюзионным поражением артерий нижних конечностей путём определения оптимальной методики реваскуляризации и оценки факторов риска развития ключевых осложнений.

Задачи исследования

1. Сравнить ранние послеоперационные результаты бедренно-подколенного шунтирования с использованием реверсированной аутовены, аутовены подготовленной по методике *in situ* и аутовены, подготовленной по методике *ex situ* при наличии большой подкожной вены удовлетворительного размера и установить оптимальную методику реваскуляризации нижних конечностей.

2. Установить факторы риска развития ключевых неблагоприятных исходов заболевания и лечения: летального исхода, тромбоза шунта, ампутации нижней конечности в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера, которым проводились артериальные реконструкции по методике реверсированной аутовены, методикам *in situ* и *ex situ*.

3. Создать модель прогнозирования летального исхода в раннем послеоперационном периоде среди пациентов с БПВ удовлетворительного диаметра, кому проводились артериальные реконструкции по методике реверсированной аутовены, методикам *in situ* и *ex situ*.

4. Сравнить ранние послеоперационные результаты бедренно-подколенного шунтирования с применением артериальной реконструкции венами верхних конечностей, артериализованной большой подкожной веной и синтетическими протезами при наличии большой подкожной вены неудовлетворительного размера и установить оптимальную методику

реваскуляризации нижних конечностей.

5. Установить ключевые факторы риска развития неблагоприятных исходов заболевания и лечения: летального исхода, тромбоза шунта, ампутации нижней конечности, инфаркта миокарда в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера, которым проводились артериальные реконструкции венами верхних конечностей, артериализованной большой подкожной веной и синтетическими протезами.

6. Изучить гемодинамику зон проксимального и дистального анастомозов после различных видов бедренно-подколенного шунтирования с целью оценки состояния нативного артериального русла у пациентов для прогнозирования формирования атеросклеротической бляшки и развития рестеноза в зоне операции.

7. Разработать и апробировать новый способ бедренно-подколенного шунтирования артериализованной большой подкожной веной с предварительным формированием артериовенозной фистулы.

8. Создать математическую модель и компьютерную программу прогнозирования развития тромбоза и ампутации конечности в отдаленном периоде наблюдения после различных видов бедренно-подколенного шунтирования.

Научная новизна исследования

Впервые проведен сравнительный анализ ключевых методик бедренно-подколенного шунтирования при протяженном окклюзионном поражении артерий нижних конечностей при удовлетворительном размере большой подкожной аутовены в качестве потенциального кондуита: шунтирования реверсированной аутовеной, аутовеной по методикам *in situ* и *ex situ* (неревсированной веной).

Впервые проведен сравнительный анализ ключевых методик бедренно-подколенного шунтирования при протяженном стено-окклюзионном поражении артерий нижних конечностей при неудовлетворительном размере большой подкожной аутовены в качестве потенциального кондуита: шунтирование

аутовенами верхних конечностей, артериализованной большой подкожной веной с предварительным формированием артериовенозной фистулы, синтетическим протезом.

Впервые в рамках проведенного сравнительного анализа вышеуказанных методик шунтирования определены факторы риска развития тромбоза шунта, ампутации, летального исхода и инфаркта миокарда в послеоперационном периоде.

Впервые выполнено бедренно-подколенное шунтирование артериализованной большой подкожной веной с предварительным формированием артериовенозной фистулы и получен патент на изобретение по поводу данного вмешательства: «Способ бедренно-подколенного шунтирования при суженном диаметре большой подкожной вены» (№ 2795539 от 08.04.2022).

Впервые проведен сравнительный математический анализ гемодинамической эффективности при различных способах БПШ.

Впервые разработаны модель и компьютерная программа (программа для ЭВМ № 2022612036 от 17.02.2022), позволяющие персонифицированно рассчитать риск развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации конечности в отдаленном периоде наблюдения после различных видов БПШ и определить оптимальную технику операции.

Теоретическая и практическая значимость работы

Получение новой информации о структуре открытых реваскуляризации в объеме бедренно-подколенного шунтирования в условиях реальной клинической практики, их эффективности и неблагоприятных исходах в послеоперационном периоде позволяет оптимизировать результаты реваскуляризации у пациентов с протяженным окклюзионным поражением бедренно-подколенного артериального сегмента.

Изучение полного комплекса клинических, ангиографических, периоперационных факторов, ассоциированных с развитием осложнений при шести различных видах бедренно-подколенного шунтирования, способствует оптимальному выбору методики операции и повышению качества реализуемой

реваскуляризации нижней конечности в условиях хронической ишемии конечности.

Разработанные математическая модель и компьютерная программа (программа для ЭВМ № 2022612036 от 17.02.2022) стратификации риска развития тромбоза шунта и ампутации нижней конечности в отдаленном периоде после БПШ позволят персонализировано подобрать способ БПШ, характеризующийся наименьшей вероятностью формирования неблагоприятных событий.

Положения, выносимые на защиту

1. При наличии большой подкожной аутовены удовлетворительного размера операцией выбора при бедренно-подколенном шунтировании как выше, так и ниже щели коленного сустава следует считать методику реверсированной аутовены, эффективность которой по ряду параметров превышает шунтирование аутовеной по методикам *in situ* или *ex situ* с ортотопическим расположением вены (методика нереверсированной вены).

2. При отсутствии большой подкожной аутовены удовлетворительного размера операцией выбора следует считать шунтирование с использованием вен рук, обладающим преимуществами как в сравнении с шунтирующими операциями с предварительной артериализацией большой подкожной вены с формированием артериовенозной фистулы, так и с использованием синтетических протезов.

3. При выполнении шунтирующих операций у пациентов с протяженным окклюзионным поражением бедренно-подколенного артериального сегмента в оценке потенциальных осложнений и неблагоприятных исходов в периоперационном периоде следует оценивать такие факторы риска, как степень тяжести хронической ишемии, уровень формирования дистального анастомоза при выполнении шунтирования выше или ниже щели коленного сустава, наличие сопутствующей патологии, в особенности, поражения коронарных и брахиоцефальных артерий, хронической болезни почек, инсулинзависимого сахарного диабета, инфаркта миокарда в анамнезе, а также времени выполнения

артериальной реконструкции.

4. Использование разработанной и внедренной в клиническую практику методики бедренно-подколенного шунтирования с предварительной артериализацией большой подкожной вены при малом её размере характеризуется удовлетворительными показателями проходимости шунта в послеоперационном периоде.

5. Разработанные математическая модель и компьютерная программа позволяют осуществлять персонифицированный выбор способа БПШ у пациентов с окклюзионно-стенотическим поражением бедренно-подколенного артериального сегмента с наименьшим риском развития тромбоза шунта и ампутации конечности в отдаленном послеоперационном периоде наблюдения.

Внедрение результатов исследования

Научные положения и практические рекомендации, полученные в результате проведенного исследования, внедрены в клиническую практику отделения сосудистой хирургии № 1 и № 2 ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница №1 имени профессора С. В. Очаповского», г. Краснодар, отделение сосудистой хирургии ГБУЗ «Городская больница № 4», г. Сочи, в отделение сосудистой хирургии ГБУЗ «Городская больница № 1», г. Новороссийск. Материал исследования используется в учебном процессе на кафедрах хирургии № 1, кафедре ангиологии и сосудистой хирургии, а также кардиохирургии и кардиологии ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России.

Степень достоверности и апробация работы

Достоверность полученных результатов подтверждают достаточный объем выборки, а также использование современных методов инструментальных исследований, непосредственное участие автора в сборе данных и их анализе, применение современных методов статистического анализа.

Основные положения диссертационного исследования представлены в на XIII съезд хирургов России (Москва, 2021), XXXVII Международной конференции «Горизонты современной ангиологии, сосудистой хирургии и

флебологии» (Кисловодск, 2022), ежегодном 24-м конгрессе Азиатского общества сосудистых хирургов (Турция, 2023), XXXIX Международной конференции «Горизонты современной ангиологии, сосудистой хирургии и флебологии» (Москва, 2024).

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие в проведении операций БПШ и курировал пациентов в периоперационном периоде. Автор лично осуществлял сбор материала, создание базы данных, статистическую обработку, написание статей диссертационной работы, разработку программы для ЭВМ «Программа для прогнозирования вероятности развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации нижней конечности в отдаленном периоде наблюдения» (№ 2022612036 от 17.02.2022). Автором получен патент на изобретение «Способ бедренно-подколенного шунтирования при суженном диаметре большой подкожной вены» (№ 2022109494 от 08.04.2022).

Публикации

По результатам диссертационного исследования опубликовано 8 научных трудов, в том числе 4 статьи в изданиях перечня ВАК при Минобрнауки России, 2 из которых в журналах, входящих в международную цитатно-аналитическую базу данных Scopus. Получен 1 патент РФ на изобретение, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 143 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4-х глав (обзор литературы, материалы и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение), заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Работа содержит 18 таблиц и 22 рисунка. Библиографический список включает 120 источников, из них – 54 отечественных и 66 зарубежных авторов.

Конфликт интересов

Часть исследования, касаемо изучения бедренно-подколенного шунтирования в условиях кальцинированной артериальной стенки, выполнено

при поддержке Кубанского научного фонда, ООО «МЕДИКА» в рамках научного проекта № МФИ-П-20.1/11.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

В данное ретроспективное исследование было включено 490 пациентов с протяженным окклюзионным поражением бедренно-подколенного артериального сегмента, которым потребовалось выполнение открытой реваскуляризации в объеме БПШ. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России.

Для итогового анализа и достижения поставленных в исследовании целей и задач пациенты были разделены на 2 когорты: 1) Пациенты с удовлетворительным размером большой подкожной вены (диаметр не менее 3 мм, отсутствие варикозной трансформации, посттромботических изменений либо каких-либо прочих изменений, препятствующих использованию аутовены) в качестве потенциального кондуита для шунтирующей операции (n=362), к которым относятся больные, кому выполнено БПШ реверсированной аутовеной (n=246), аутовеной (БПВ), подготовленной по методике *in situ* (n=54), а также аутовеной, подготовленной по методике *ex situ* (ортотопическое расположение вены) (n=62); 2) Пациенты с неудовлетворительным размером большой подкожной вены в качестве потенциального кондуита для шунтирующей операции (n=87), к которым относятся больные, кому выполнено БПШ поверхностными венами верхней конечности (n=61), БПШ с использованием артериализованной вены (с предварительным формированием артериовенозной фистулы, АВФ) (n=17), а также БПШ с использованием синтетического протеза (Jotec, Германия) (n=9). Оценка осложнений проводилась на госпитальном этапе и в отдаленном периоде наблюдения ($47,6 \pm 12,3$ мес.).

Математическая модель и компьютерная программа

прогнозирования развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации конечности

Для решения задачи классификации (необходимо определить принадлежит

ли пациент какому-либо из двух классов: «Тромбоз шунта» и/или «Ампутация конечности») использовали два метода: Гауссовский наивный байесовский классификатор и «случайный лес» (<https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/ansamblevye-metody-begging-busting-i-steking/>).

На основании вышеприведенных данных для итоговых вычислений использовалась только модель «случайного леса», так как исторических данных достаточно мало для модели с имеющимся количеством признаков (476 записей для 35 признаков), то было уменьшено количество последних, оставлены только те, которые встречаются хотя бы в 10% положительных случаев. Далее представлен код программы, возвращающий обрезанный массив данных и набор обрезанных полей: `defdrop_low_volume_columns(td, volume, col): ifcol == 'xx':td = td.drop('zz', axis=1) elifcol == 'zz': td=td.drop('xx', axis=1) x = td[td[col] == 1] su = x.sum() mass = []header = list(td) forkeyinheader: ifsu[key] <su[col] * volume / 100 : mass.append(key) td = td.drop(mass, axis=1) return td, mass.` Используя эту функцию, пересчитывалась модель «случайного леса», описанная выше. Из результата анализа матрицы ошибок (Confusion matrix) следует, что ложноотрицательные результаты исчезли, а точность модели повысилась на 5%.

Таким образом, данная модель использовалась для создания компьютерной программы, позволяющей в интерактивном режиме на основе клинико-anamнестических, демографических и периоперационных данных оценить риск (низкий, средний, высокий) развития тромбоза шунта с последующей ампутацией после БПШ в отдаленном периоде наблюдения.

Методы статистического анализа

Для проведения статистического анализа использовалась программа IBM SPSS 26 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc. Chicago, IL, United States). Качественные показатели представлялись абсолютными числами (n) и процентами (%), для их анализа применялись критерий Хи-квадрат Пирсона и точный критерий Фишера. Распределение количественных показателей оценивалось с применением критериев Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова. При нормальном распределении средние значения представлялись

средней арифметической со средним квадратическим отклонением ($M \pm \sigma$), для сравнения несвязанных совокупностей применялся t-критерий Стьюдента с оценкой равенства дисперсий по критерию Ливиня, связанных – t-критерий Стьюдента. При распределении, отличном от нормального, средние значения представлялись медианой и межквартильным интервалом (Me , $Q1-Q3$), для сравнения несвязанных совокупностей применялся критерий Манна-Уитни, связанных – Уилкоксона. При множественном сравнении использовался дисперсионный анализ, в том числе критерии Краскелла-Уоллеса и Фридмана с дальнейшими апостериорными попарными сравнениями. Для построения прогностических моделей использовался ROC-анализ, логистическая регрессия. Критический уровень значимости – $p < 0,05$ (двусторонняя p).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера

Анализ ключевых характеристик пациентов с большой подкожной веной (БПВ) удовлетворительного размера показал, что больные были сопоставимы по таким показателям как пол, возраст, стадия заболевания по Фонтейну, категория ХИНК по Рутерфорду, тяжесть заболевания по классификации WiFi, выполнению БПШ выше либо ниже щели коленного сустава, наличие поражения коронарных артерий, поражения брахиоцефальных артерий, поражения берцовых артерий, наличие стенокардии напряжения, ХСН, инфаркта миокарда в анамнезе, ОНМК в анамнезе, ХОБЛ, ХБП, ожирения, а также сахарного диабета, в том числе на инсулине.

ROC-анализ среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера

ROC-анализ, проведенный среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера, позволил создать модель прогнозирования летального исхода в течение периода послеоперационного наблюдения на основании времени, которое потребовалось на выполнение артериальной реконструкции. Время операции (Me ($Q1-Q3$)) составило 180 (145-205) минут при выполнении БПШ реверсированной аутовеной, 160 (140-190) минут при БПШ аутовеной (БПВ), подготовленной по методике *in situ*, 152,5 (120-195) минут – при использовании

аутовены, подготовленной по методике *ex situ* ($p=0,086$). Площадь под ROC-кривой составила $0,794 \pm 0,076$ с 95% ДИ: 0,644-0,943. Значимость модели – 0,025 (Рисунок 1). Пороговое значение времени операции в точке cut-off, определенное с помощью индекса Юдена, – 197,5 минут. Направление проверки по возрастанию, при значении времени операции равном или выше точки cut-off прогнозируется смерть в течение периода послеоперационного наблюдения. Чувствительность и специфичность метода составили 80% и 70,4%, соответственно.

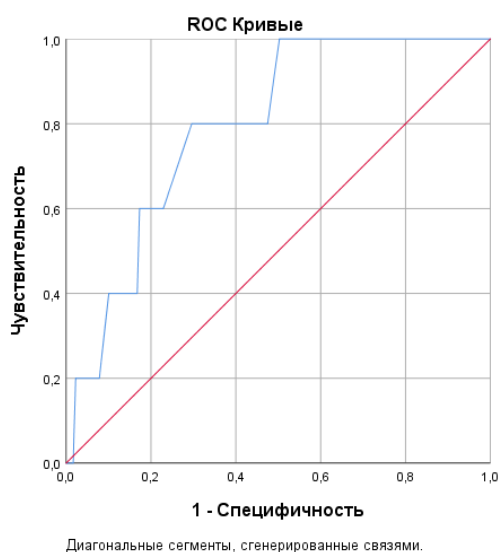


Рисунок 1 – ROC-кривая при создании модели прогнозирования смерти в течение периода послеоперационного наблюдения на основании времени операции

Точную причинно-следственную связь длительности выполнения вмешательства и развития летального исхода в послеоперационном периоде представляется затруднительным; тем не менее, более высокая длительность выполнения вмешательства преимущественно может быть объяснена степенью тяжести поражения артериального русла, что может в целом характеризовать тяжесть мультифокального атеросклероза и высокие периоперационные риски.

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной (БПВ) удовлетворительного размера по параметру развития летального исхода в периоде послеоперационного наблюдения показал:

1. Риски развития летального исхода в 3,2 раза были ниже среди пациентов

с 2б стадией заболевания по Фонтейну ОШ 0,309 (95% ДИ 0,098-0,978), $p=0,046$. Наличие 6 категории ХИНК по Рутерфорду значительно повышало риски развития летального исхода в послеоперационном - ОШ 16,476 (95% ДИ 2,546-106,611), $p=0,003$;

3. Наличие у пациентов инфекции стопы (fi согласно классификации WiFi) характеризуется повышением риска развития летального исхода в послеоперационном периоде - ОШ 1,63 (95% ДИ 1,001-2,655), $p=0,045$;

4. Наличие у пациентов поражения коронарных артерий характеризовалось более чем 2-кратным повышением риска развития летального исхода в периоде послеоперационного наблюдения: ОШ 2,2 (95% ДИ 1,013-4,624), $p=0,046$.

В своем исследовании мы выявили, в какой степени тяжесть ишемии и сопутствующая патология влияли на риски развития летального исхода.

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной (БПВ) удовлетворительного размера по параметру развития тромбоза аутовенозного шунта в периоде послеоперационного наблюдения показал:

1. Риски развития тромбоза в послеоперационном периоде более чем в 3 раза были ниже среди пациентов с 2б стадией заболевания по Фонтейну ОШ 0,324 (95% ДИ 0,185-0,566), $p<0,001$;

2. Риск тромбоза был в 2,5 раза ниже при шунтировании выше щели коленного сустава (ОШ=0,363; 95% ДИ 0,215–0,615; $p<0,001$), в том числе при использовании реверсированной аутовены риск снижался в 2 раза (ОШ=0,503; 95% ДИ 0,293–0,865; $p=0,013$). При шунтировании ниже щели риск тромбоза повышался при использовании методик *in situ* (ОШ=1,256; 95% ДИ 1,001–1,577; $p=0,049$) и *ex situ* (ОШ=1,174; 95% ДИ 1,023–1,348; $p=0,023$).

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной (БПВ) удовлетворительного размера по параметру необходимости выполнения ампутации в периоде послеоперационного наблюдения показал:

1. Риск ампутации ниже при 2Б стадии по Фонтейну (ОШ=0,107; 95% ДИ 0,032–0,363; $p<0,001$) и выше при 4 стадии (ОШ=4,691; 95% ДИ 2,092–10,519;

$p < 0,001$), наличии раны (ОШ=2,004; 95% ДИ 1,313–3,059; $p=0,001$) и инфекции стопы (ОШ=1,91; 95% ДИ 1,27–2,872; $p=0,002$).

2. Шунтирование выше щели коленного сустава снижает риск ампутации (ОШ=0,336; 95% ДИ 0,151–0,749; $p=0,008$). При шунтировании ниже щели риск повышается при использовании методик *in situ* (ОШ=1,413; 95% ДИ 1,021–1,957; $p=0,037$) и *ex situ* (ОШ=1,331; 95% ДИ 1,132–1,565; $p=0,001$).

3. Сахарный диабет увеличивал риск ампутации в 2,4 раза (ОШ=2,424; 95% ДИ 1,098–5,35; $p=0,028$), а инсулинозависимый диабет — более чем в 3 раза (ОШ=3,192; 95% ДИ 1,142–8,921; $p=0,027$).

Результаты среди пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера

Анализ ключевых характеристик пациентов с большой подкожной веной (БПВ) неудовлетворительного размера показал, что больные были сопоставимы по таким показателям как пол, возраст, тяжесть заболевания по классификации WiFi, выполнению БПШ выше либо ниже щели коленного сустава, наличие поражения брахиоцефальных артерий, наличие стенокардии напряжения, ОНМК в анамнезе, ХБП, а также сахарного диабета, в том числе на инсулине. Ограничением могло служить несопоставимость групп по стадии заболевания, однако, на окончательный результат по итогам проведения регрессионного анализа данное ограничение не повлияло.

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной (БПВ) неудовлетворительного размера по параметру развития тромбоза шунта в периоде послеоперационного наблюдения показал:

1. Использование синтетических протезов в отличие от аутолены сопровождается повышением риска тромбоза в послеоперационном периоде – ОШ 9,583 (95% ДИ 2,166-42,395), $p=0,003$ согласно результатам однофакторного анализа, - ОШ 11,89 (95% ДИ 2,248-62,894), $p=0,004$;

2. Выполнение шунтирующей операции с использованием синтетического протеза даже выше щели коленного сустава существенно повышало риски развития тромбоза протеза в послеоперационном периоде - ОШ 19,636 (95% ДИ

1,872-205,987), $p=0,013$;

3. Риск тромбоза значительно повышался при поражении брахиоцефальных артерий (ОШ=2,587; 95% ДИ 1,173–5,709; $p=0,019$) и поражении берцовых артерий (ОШ=1,795; 95% ДИ 1,013–3,180; $p=0,045$). Наиболее выраженное увеличение риска наблюдалось у пациентов с хронической болезнью почек (ОШ=18,383; 95% ДИ 1,296–260,850; $p=0,031$) и инсулинозависимым сахарным диабетом (ОШ=11,171; 95% ДИ 1,395–89,426; $p=0,023$).

О преимуществах аутовены утверждает немало ученых. Жданович К.В. и соавт. (2025) провели анализ отдаленных результатов оперативного лечения у 141 пациента с ОААНК со стено–окклюзионным поражением бедренно-подколенного сегмента, кому проводились открытые артериальные реконструкции. В ходе работы авторы выявили, что наилучшая первичная проходимость зон артериальных реконструкций была зарегистрирована у пациентов, кому выполнялось БПШ с использованием аутовены.

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной (БПВ) неудовлетворительного размера по параметру необходимости выполнения ампутации в периоде послеоперационного наблюдения показал следующие результаты:

1. Наличие 4 стадии заболевания по Фонтейну либо 5 категории ХИНК по Рутерфорду значительно увеличивало риски ампутации – ОШ 8 (95% ДИ 1,399-45,756), $p=0,019$. Наличие раны/язвы согласно классификации WiFi сопровождалось повышенным риском ампутации в послеоперационном периоде - ОШ 3,622 (95% ДИ 1,205-10,885), $p=0,022$;

2. Использование синтетического протеза для выполнения БПШ в отсутствие БПВ подходящего размера сопровождалось значительным увеличением риска ампутации в послеоперационном периоде - ОШ 12,5 (95% ДИ 2,059-75,882), $p=0,006$, в особенности, при использовании синтетических протезов для шунтирования ниже уровня щели коленного сустава - ОШ 13 (95% ДИ 1,67-101,188), $p=0,014$.

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной

веной (БПВ) неудовлетворительного размера по параметру развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде показал следующие результаты:

1. Наличие 4 категории ХИНК по Рутерфорду увеличивало риски развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде – ОШ 8,364 (95% ДИ 1,644-42,541), $p=0,01$;

2. Выполнение шунтирования выше щели коленного сустава с использованием артериализованной аутовены (БПВ) сопровождалось повышенным риском развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде - ОШ 1,535 (95% ДИ 1,198-1,966), $p=0,001$;

3. Наличие ранее перенесенного инфаркта миокарда (постинфарктного кардиосклероза) характеризовалось повышенным риском развития повторного инфаркта миокарда – ОШ 5,778 (95% ДИ 1,168-28,582), $p=0,032$. Наличие сопутствующей ХОБЛ сопровождалось пониженным риском развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде – ОШ 0,08 (0,009-0,701), $p=0,023$.

Наше исследование показало, что в ситуации, когда БПВ не доступна или не пригодна, могут применяться аутовена верхней конечности, методика артериализации БПВ для увеличения её размера и синтетический протез. Частота различных осложнений после их применения выше, чем при использовании БПВ, однако, для сохранения конечности в ситуации отсутствия «кондуита первой линии» выбор в их пользу является очевидным, в особенности, если речь идет об использовании вен верхних конечностей.

Математическое моделирование кровотока в области анастомозов при разных типах бедренно-подколенного шунтирования

Математическое моделирование кровотока в области анастомозов при разных типах БПШ объясняет с позиции гемодинамики преимущества одного вида хирургического лечения над другим.

Для изучения гемодинамики в области проксимального дистального анастомозов было отобрано 5 пациентов, перенесших БПШ выше щели коленного сустава в различных модификациях:

1-й пациент – ортотопическое БПШ (*ex situ*) реверсированной БПВ;

2-й пациент – БПШ реверсированной БПВ;

3-й пациент – БПШ синтетическим протезом Distaflo 6,0 мм;

4-й пациент – БПШ аутовенозным шунтом *in situ*;

5-й пациент – ортотопическое БПШ (*ex situ*) латеральной подкожной веной верхней конечности.

Геометрические модели бедренно-подколенных шунтов (Sh_01-Sh_05) строились с помощью программного обеспечения SimVascular. Их изображения приведены на Рисунке 2.

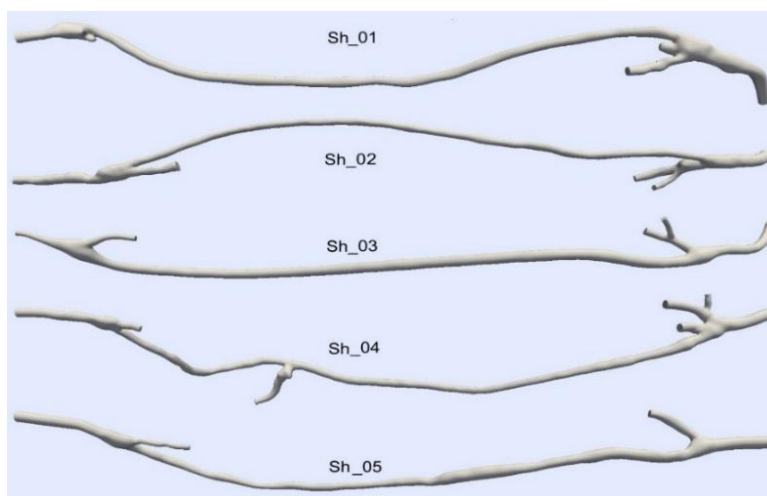


Рисунок 2 – Геометрические модели бедренно-подколенных шунтов

В построенных моделях с помощью ПО SimVascular выполнили численные расчеты кровотока, на основании которых в программе ParaView построили распределения гемодинамических показателей OSI, TAWSS и RRT. Критическим значением RRT считали $6,25 \text{ Па}^{-1}$. По величине RRT на стенке артерии выделяли зоны риска атерогенеза, степень риска оценивали по интегральному показателю RRT_{int} ($\text{Па}^{-1} \cdot \text{см}^2$). Зону анастомоза разделили на три участка: Z1 – зона анастомоза, Z0 и Z2 – зоны поверхностной и глубокой бедренных артерий. RRT_{int} рассчитывали для Z1 и фрагментов Z2 (Z0 не учитывали) (Рисунок 3)

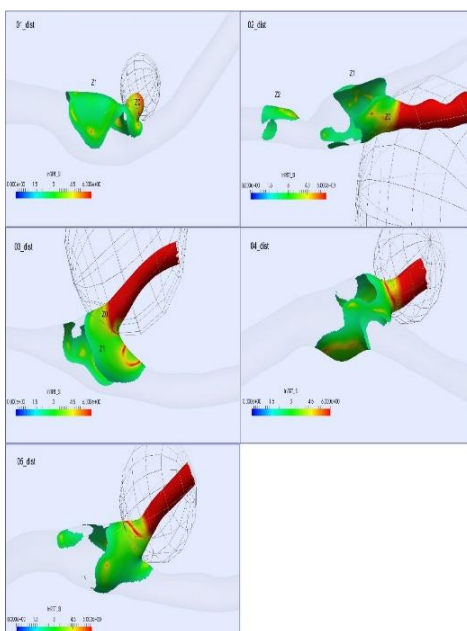


Рисунок 3 – Зоны риска в дистальных анастомозах

Таким образом, создана программа стратификации риска тромбоза шунта и ампутации конечности у пациентов после БПШ в отдаленном послеоперационном периоде. Впервые в арсенале мультидисциплинарного консилиума появился инструмент, позволяющий рассчитать вероятность указанных осложнений при применении и синтетических протезов, и разных вариантов аутовенозных трансплантатов.

ВЫВОДЫ

1. Сравнение послеоперационных результатов бедренно-подколенного шунтирования при наличии большой подкожной веной удовлетворительного размера показало оптимальные результаты при использовании реверсированной аутовены с позиции оценки вероятности развития тромбоза шунта (ОШ 0,503 (95% ДИ 0,293-0,865), $p=0,013$). При шунтировании ниже щели коленного сустава применение методик *in situ* и *ex situ* (методика неревсированной аутовены) отмечалось повышение вероятности тромбоза шунта в послеоперационном периоде в 1,256 ($p=0,049$) и 1,174 раз ($p=0,023$), соответственно, ампутаций – в 1,413 ($p=0,037$) и 1,331 раз ($p=0,001$) соответственно.

2. В группе пациентов с БПВ удовлетворительного размера вероятность

развития тромбоза в послеоперационном периоде более чем в 3 раза была ниже среди пациентов с 2б стадией заболевания по Фонтейну ($p<0,001$), в 2,5 раза ниже при выполнении шунтирующей операции выше уровня щели коленного сустава ($p<0,001$), а также в 2 раза ниже при выполнении шунтирования с использованием реверсированной аутовены ($p=0,013$). Вероятность развития летального исхода была в 3,23 раза ниже у пациентов с 2б стадией заболевания по Фонтейну ($p=0,04$) в сравнении с тяжелой, в 1,63 выше при наличии инфекции стопы ($p=0,045$), в 2,2 раза выше при наличии сопутствующего поражения коронарных артерий ($p=0,046$). Инсулинзависимый сахарный диабет увеличивал вероятность ампутации в послеоперационном периоде более чем в 3 раза ($p=0,027$).

3. Анализ методом ROC-кривых у пациентов с адекватным диаметром большой подкожной вены, подвергшихся операциям по восстановлению артериального кровотока, позволил построить прогностическую модель риска смерти. Согласно полученной модели, продолжительность операции больше 197,5 минут связана с развитием летального исхода в послеоперационном периоде с чувствительностью 80% и специфичностью 70,4%.

4. Сравнение ранних послеоперационных результатов бедренно-подколенного шунтирования при наличии большой подкожной веной неудовлетворительного размера показало, что оптимальными в качестве трансплантатов являются вены верхних конечностей либо артериализованная БПВ малого размера, так как использование синтетических шунтов для БПШ сопровождалось значимым повышением вероятности развития тромбоза шунта в послеоперационном периоде в 11,89 раз ($p=0,004$), ампутации – 12 раз ($p=0,006$).

5. В группе пациентов с БПВ неудовлетворительного размера вероятность тромбоза повышалась более чем в 9 раз при использовании синтетических протезов ($p=0,003$), при наличии атеросклероза БЦА – в 2,587 раз ($p=0,019$), поражения берцовых артерий в 1,795 раз ($p=0,045$); наличие ХБП повышало вероятность тромбоза в 19,636 раз ($p=0,013$), сахарного диабета – в 19,722 раз ($p=0,001$). Наличие 4-й стадии заболевания по Фонтейну либо 5 категории ХИНК

по Рутерфорду увеличивало вероятность ампутации в 8 раз ($p=0,019$), использование синтетического протеза для выполнения БПШ – в 12,5 раз ($p=0,006$), в особенности, ниже уровня щели коленного сустава – в 13 раз ($p=0,014$). Вероятность инфаркта миокарда в послеоперационном периоде была повышена при наличии 4 категории ХИНК по Рутерфорду – в 8,364 раз ($p=0,01$), выполнении шунтирования выше щели коленного сустава с использованием артериализованной аутовены – в 1,535 раз ($p=0,001$); наличие постинфарктного кардиосклероза характеризовалось повышенной вероятностью развития повторного инфаркта миокарда в 5,778 раз ($p=0,032$), в то время как наличие сопутствующей ХОБЛ характеризовалось пониженной вероятностью развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде – ОШ 0,08 (0,009–0,701), $p=0,023$.

6. Оценка нарушения гемодинамики в зонах проксимального и дистального анастомозов после различных видов бедренно-подколенного шунтирования при помощи математического моделирования позволила создать модели характеристик кровотока, способствующих формированию атеросклеротической бляшки и развитию рестеноза в зоне операции.

7. Разработан и успешно внедрен в медицинскую практику новый метод бедренно-подколенного шунтирования с предварительной артериализацией малой по размеру большой подкожной вены путем формирования артериовенозной фистулы и последующего использования в качестве трансплантата после достижения ею необходимого диаметра (патент № 2022109494 от 08.04.2022). Данный метод показал хорошие краткосрочные и долгосрочные результаты, сравнимые с традиционными методами шунтирования при невозможности использования обычной большой подкожной вены.

8. Создана математическая модель и разработана компьютерная программа для выбора оптимального метода бедренно-подколенного шунтирования, обеспечивающего минимальный риск послеоперационных осложнений. Программа рассчитывает автоматически индивидуальные прогностические коэффициенты для всех значимых факторов риска (клинические показатели, анамнез заболевания, результаты ангиографии)

конкретного пациента и позволяет оценить вероятность развития тромбоза шунта и необходимость ампутации конечности в позднем послеоперационном периоде («Программа для прогнозирования вероятности развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации конечности в отдалённом периоде наблюдения», регистрационный номер 2022612036 от 17 февраля 2022 г.).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При наличии у пациента большой подкожной вены удовлетворительного размера в качестве оптимальной методикой аутовенозного шунтирования как выше, так и ниже щели коленного сустава рекомендуется использование реверсированной аутовены. Методики *in situ* и *ex situ* (неревсированной аутовены) по ряду параметров уступают методике реверсированной аутовены.

2. Опиерирующему хирургу и анестезиологической бригаде важно учитывать, что превышение времени открытого этапа реконструкции свыше 197,5 минут при выполнении бедренно-подколенных шунтирующих операций любыми доступными способами (реверсированная аутовена, методика *in situ* или *ex situ*, неревсированная аутовена) повышает риск смертельного исхода в послеоперационном периоде. Особое внимание следует уделять пациентам с выраженными ишемическими изменениями нижних конечностей VI категории по классификации Рутерфорда, инфекциями стоп (WIFI), сопутствующим поражением коронарных артерий, а также страдающим сахарным диабетом, особенно инсулинозависимым типом, так как у этих групп пациентов значительно возрастает риск последующей ампутации ноги после операции.

3. В отсутствие большой подкожной вены удовлетворительного размера оптимальной методикой бедренно-подколенного шунтирования можно считать использование вен верхних конечностей, так как подобные вмешательства, в сравнении с использованием методики предварительной артериализации большой подкожной вены с формированием артериовенозной фистулы либо с использованием синтетических протезов, характеризуются оптимальными результатами реконструкций в отношении развития неблагоприятных исходов в послеоперационном периоде.

4. При выполнении бедренно-подколенного шунтирования с использованием вен верхних конечностей, предварительно сформированных артериовенозных фистул для артериализации большой подкожной вены или искусственных протезов, особое внимание следует уделить пациентам с сочетанным поражением брахиоцефальных артерий (БЦА) и сахарным диабетом инсулинозависимой формы, так как эти факторы тесно связаны с повышенным риском образования тромба в послеоперационном периоде. Дополнительно стоит отметить важность тщательного мониторинга пациентов с постинфарктным кардиосклерозом, поскольку наличие последнего повышает риск повторных инфарктов миокарда более чем в 5 раз.

5. В сосудистых стационарах, занимающихся хирургической реваскуляризацией нижних конечностей у пациентов с окклюзионно-стенотическим атеросклеротическим поражением бедренно-подколенного сегмента, для идентификации метода БПШ, ассоциированного с минимальным риском ампутации конечности и тромбоза шунта в отдаленном послеоперационном периоде в качестве дополнительного инструмента целесообразно применять разработанную программу для ЭВМ «Программа для прогнозирования вероятности развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации конечности в отдаленном периоде наблюдения» (№ 2022612036 от 17.02.2022).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бедренно-подколенное шунтирование: от истоков до наших дней / **А.Б. Закеряев**, Р.А. Виноградов, В.В. Матусевич [и др.] // **Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова**. – 2021. – Т. 16, № 3. – С. 57–60. – DOI 10.25881/20728255_2021_16_3_57.
2. Бедренно-подколенное шунтирование / **А.Б. Закеряев**, Р.А. Виноградов, П.В. Сухоручкин [и др.] // **Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия**. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 272–282. – DOI 10.17116/kardio202316031272.
3. Результаты бедренно-подколенного шунтирования у пациентов с большой подкожной веной малого размера / **А.Б. Закеряев**, Р.А. Виноградов, Т.Э., Бахишев [и др.] // **Наука молодых (Eruditio Juvenium)**. - 2025. - Т. 13, № 4. -С. 579–590. doi: 10.23888/HMJ2025134579-590
4. Выбор оптимальной методики бедренно-подколенного шунтирования в зависимости от доступности аутовены и риска развития тромбоза шунта / **А.Б. Закеряев**, Р.А. Виноградов,

Т.Э. Бахишев [и др.] // **Иновационная медицина Кубани.** – 2025 – Т. 10, № 4. - С. 87-94.
<https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-4-87-94>

5. Способ подготовки большой подкожной вены малого диаметра в качестве шунтирующего материала при бедренно-подколенных реконструкциях / **Закеряев А.Б.**, Виноградов Р.А., Бахишев Т.Э. [и др.] // Материалы XXXVII Международной конференции «Горизонты современной ангиологии, сосудистой хирургии и флебологии» (Кисловодск, 2022). Ангиология и сосудистая хирургия. 2022. - Том 28, №1. – С. 83-85.

6. Characteristic of hemodynamics in the area of proximal and distal anastomoses in various types of femoro-popliteal shunting / **Aslan Zakeryaev**, Amirlas Sozaev, Gerey Hangereev [et al.] // The abstract book of 24th Congress of Asian Society for Vascular surgery (ASVS). Turk J Vasc Surg. 2023. Vol. 32. - Suppl 2. - P. 81.

7. Ортотопическое бедренно-подколенное шунтирование префабрицированной ex situ аутовеной. новый взгляд инфрагвинальных реконструкций у пациентов с критической ишемией нижних конечностей / **Закеряев А.Б.**, Виноградов Р.А., Дербилова В.П. [и др.] // Горизонты современной ангиологии, сосудистой и рентгенэндоваскулярной хирургии. Материалы XXXIX Международной конференции. Москва, 2024. - С. 189-190.

8. Способ подготовки большой подкожной вены малого диаметра при бедренно-подколенных реконструкциях / Бутаев С.Р., Виноградов Р.А., **Закеряев А.Б.** [и др.] // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Актуальные вопросы в сосудистой хирургии», IV Съезд Казахстанского общества сосудистых хирургов. Алматы, 26–27 мая 2023 г. – С. 54.

9. Патент № 2795539 Российская Федерация, МПК А61В 17/00(2006.01), А61В 17/11(2006.01), А61F 2/06(2013.01). Способ бедренно-подколенного шунтирования при суженном диаметре большой подкожной вены: заявка № 2022109494: заявлено 08.04.2022 : опубликовано 04.05.2023 / **Закеряев А. Б.**, Виноградов Р. А., Бахишев Т. Э. [и др.].

10. Программа для прогнозирования вероятности развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации нижней конечности в отдаленном периоде наблюдения. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022612588, 28.02.2022. Заявка № 2022612036 от 17.02.2022. / **Закеряев А. Б.**, Виноградов Р. А., Бутаев С. Р. [и др.].

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БПВ – большая подкожная вена

БПШ – бедренно-подколенное шунтирование

БЦА - брахиоцефальные артерии

ИМ – инфаркт миокарда

КТ АГ – компьютерная томография с ангиографией

ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения

ОР – отношение рисков

ОШ – отношение шансов

ПИКС – постинфарктный кардиосклероз

СД – сахарный диабет

ХБП – хроническая болезнь почек

ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

ХСН – хроническая сердечная недостаточность

ХИУПК – хроническая ишемия, угрожающая потерей конечности

OSI (oscillatory shear index) – индекс колебательного сдвига

RRT (relative residence time) – относительное время задержки

TAWSS (time-averaged WSS) – среднее значение напряжения сдвига на стенке сосуда

WSS (Wall Shear Stress) – пристеночное напряжение сдвига