

«ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Закеряев Аслан Бубаевич

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

3.1.15. Сердечно-сосудистая хирургия

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель
доктор медицинских наук, доцент
Виноградов Роман Александрович

Краснодар – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
1.1. Бедренно-подколенное шунтирование при стено-окклюзионном атеросклеротическом поражении артерий нижних конечностей: современное состояние проблемы.....	15
1.2. Выбор в пользу эндоваскулярного или открытого вмешательства.....	17
1.3. Применение большой подкожной вены для бедренно-подколенного шунтирования: преимущества и недостатки.....	20
1.4. Применение синтетического протеза для бедренно-подколенного шунтирования.....	25
1.5. Применение биологического протеза для бедренно-подколенного шунтирования.....	29
1.6. Другие виды протезов для бедренно-подколенного шунтирования.....	31
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	35
2.1. Общая характеристика пациентов.....	35
2.1.1. Оценка неблагоприятных исходов.....	38
2.1.2. Общеклинические и лабораторные методы исследования.....	38
2.1.3. Специальные методы исследования.....	38
2.2. Описание методик выполнения бедренно-подколенного шунтирования.....	41
2.2.1. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования реверсированной большой подкожной веной.....	41
2.2.2. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования большой подкожной веной <i>in situ</i>	42
2.2.3. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования большой подкожной веной <i>ex situ</i> (методика неревсированной вены).....	44
2.2.4. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования с использованием вен верхних конечностей.....	46

2.2.5. Бедренно-подколенное шунтирование с использованием синтетического протеза.....	49
2.3. Новый метод бедренно-подколенного шунтирования с использованием артериализованной большой подкожной веной.....	50
2.4. Методика создания программы стратификации риска послеоперационных осложнений БПШ.....	52
2.5. Математическая модель и компьютерная программа прогнозирования развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации конечности...	53
2.6. Методы статистического анализа.....	58
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	59
3.1. Общая характеристика пациентов.....	59
3.2. Характеристика и результаты лечения когорты пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера.....	62
3.3. Исходы среди пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера.....	65
3.4. ROC-анализ среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера.....	66
3.5. Логистическая регрессия в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера.....	69
3.5.1. Анализ развития летальных исходов в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера.....	69
3.5.2. Анализ развития тромбоза аутовенозного шунта в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера.....	72
3.5.3. Анализ необходимости выполнения ампутации в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера.....	75
3.6. Характеристика и результаты лечения когорты пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера.....	81
3.7. Исходы среди пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера.....	83

3.8. Логистическая регрессия в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера.....	85
3.8.1. Анализ развития летальных исходов в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера.....	85
3.8.2. Анализ развития тромбоза шунта в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера.....	87
3.8.3. Анализ необходимости выполнения ампутации в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера.....	90
3.8.4. Анализ развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде в когорте пациентов с БПВ неудовлетворительного размера.....	93
3.9 Математическое моделирование кровотока в области анастомозов при разных типах бедренно-подколенного шунтирования.....	97
3.10. Ограничения исследования.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	110
ВЫВОДЫ.....	119
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	122
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Проблема окклюзионно-стенотических поражений бедренно-подколенного сегмента всегда находилась в центре внимания сосудистых хирургов [3, 14, 15, 24]. Разработка методов реконструктивных вмешательств, изучение и апробация различных способов реваскуляризации нижних конечностей ранее побуждали медицинское сообщество к совершенствованию существующих технологий [4, 44, 46, 53]. Несмотря на активное внедрение эндоваскулярных технологий, открытые шунтирующие операции до сих пор являются основным методом хирургического лечения пациентов с распространенным тяжелым облитерирующим поражением бедренной и подколенной артерий [9, 10, 50, 75, 84, 99].

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 [24, 41, 46]. При этом успех БПШ зависит в первую очередь от длительности функционирования имплантируемого кондуита [11, 15]. История развития этого вопроса привела к разработке и внедрению разных видов шунтов, начиная от аутологичной вены, синтетических и биологических протезов до различных вариантов аллотрансплантатов [12, 13, 17, 24, 62, 66, 79, 88, 98]. Однако исследователи сходятся во мнении, что большая подкожная аутовена (БПВ) характеризуется наибольшими показателями сроков функционирования, а значит, и качества жизни пациентов [14, 16, 24, 27]. На сегодняшний день активнее всего используются два вида аутовенозных трансплантатов: реверсированная БПВ и БПВ, подготовленная методом *in situ* [27, 29, 38]. В случае отсутствия подходящей БПВ применяются такие аналоги, как аутовена верхней конечности, синтетические и биологические протезы [41, 83]. К сожалению, перечисленные виды БПВ имеют ряд недостатков. В частности, при применении

реверсированной аутовены не соблюдается конгруэнтность диаметра просвета ее дистального конца и подколенной артерии (ПКА). Это приводит к повышению периферического сопротивления и может стать предпосылкой для дальнейшего рестеноза/тромбоза. В свою очередь БПВ, подготовленная методом *in situ*, характеризуется тем, что вальвулотомия производится фактически «вслепую», так как аутовена не извлекается из тканей. Такая манипуляция не исключает механического повреждения стенки аутовены и может привести к развитию кровотечения. Также в результате сохранения притоков БПВ происходит сброс артериальной крови через последние в венозное русло, что может спровоцировать гиперволемию и вторичную ишемию конечности. Таким образом, разработка новых способов подготовки БПВ для БПШ является крайне актуальной задачей.

Биологический протез, согласно данным литературы, характеризуется более высоким риском развития всех осложнений относительно аналогов, начиная от инфицирования, заканчивая патологическим расширением, и в этой связи имеет ограниченную популярность в медицинской среде [50]; тем не менее и традиционные виду шунтов так же характеризуются потенциальными рисками развития осложнений [20].

Длительное функционирование того или иного кондуита позволяет сохранять трудоспособность и качество жизни каждого пациента, поэтому своевременная идентификация той когорты больных, которая находится в зоне риска дисфункции шунта, является важной проблемой. В связи с этим необходимо отметить, что на сегодня не существует конкретных методов решения данной проблемы.

Таким образом, разработка нового метода прогнозирования дисфункции шунта, универсального для разных вариантов аутовенозных и искусственных кондуитов, является крайне актуальной задачей. Внедрение, наряду с известными методиками, новых способов бедренно-подколенного шунтирования, уменьшающих риски, позволит добиться снижения частоты осложнений в госпитальном и отдаленном послеоперационном периодах.

Цель исследования

Улучшить результаты бедренно-подколенного шунтирования у пациентов с протяженным атеросклеротическим стено-окклюзионным поражением артерий нижних конечностей путем 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 большой подкожной веной (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 персонифицировано 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 исследования

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.

Методология и методы исследования

В основу проведения представленной работы легли результаты исследований в области лечения пациентов с хронической ишемией нижних конечностей (ХИНК), осложнений после реализации БПШ реверсированной аутовеной, БПШ *in situ*, БПШ *ex situ* (методика нереверсированной вены), БПШ аутовеной верхней конечности, БПШ артериализованной веной, БПШ синтетическим протезом. Для решения задач, которые были поставлены перед настоящим исследованием, проводились клинические и инструментальные обследования больных с атеросклеротическим поражением артерий нижних конечностей на стационарном и амбулаторном этапах наблюдения, на базе ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница №1 имени профессора С.В. Очаповского» (НИИ – ККБ № 1), г. Краснодара. Результаты, полученные в процессе работы, подверглись статистической обработке.

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 ее размере характеризуется удовлетворительными показателями проходимости шунта в послеоперационном периоде.

5. Разработанные математическая модель и компьютерная программа позволяют осуществлять персонализированный 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 отделений сосудистой хирургии № 1 и № 2 ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевой клинической больницы № 1 имени профессора С. В. Очаповского», г. Краснодар, отделения сосудистой хирургии ГБУЗ «Городская больница № 4», г. Сочи, отделения 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 кафедре кардиохирургии и кардиологии ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России.

Степень достоверности и апробация работы

Диссертационная работа выполнена по плану научно-исследовательской работы в рамках фундаментальной темы НИИ–ККБ № 1 и утверждена на ученом совете КубГМУ Минздрава РФ. 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 на XIII съезде хирургов России (Москва, 2021), XXXVII Международной конференции «Горизонты современной ангиологии, сосудистой хирургии и флебологии» (Кисловодск, 2022), Республиканской научно-практической конференции «Актуальные вопросы в сосудистой хирургии» и IV съезде Казахстанского общества сосудистых хирургов (Алматы, Казахстан, 26–27 мая 2023), 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» (№ 2795539 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.

Конфликт интересов

Часть исследования, касаемо изучения бедренно-подколенного шунтирования в условиях кальцинированной артериальной стенки, выполнена при поддержке Кубанского научного фонда, ООО «МЕДИКА» в рамках научного проекта № МФИ-П-20.1/11.

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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Бедренно-подколенное шунтирование при стено-окклюзионном атеросклеротическом поражении артерий нижних конечностей: современное состояние проблемы

Российские рекомендации определяют то, что бедренно-подколенное шунтирование является более предпочтительным вмешательством, чем эндоваскулярный способ лечения. Во многом это обеспечивается более устойчивым отдаленным эффектом открытой реваскуляризации, а именно «лучшей проходимостью» шунта, особенно, если речь идет об аутовене. Сохранение функциональности БПВ в этой позиции через 5 лет наблюдения превышает 80%. В свою очередь, проходимость артерий после применения стента с лекарственным покрытием достигает лишь 66%, а без покрытия – 43%. Высокая мобильность заинтересованной области реваскуляризации способна влиять на деформацию и изломы стентов, что может привести к тромбозу зоны реконструкции. Таким образом, БПШ с применением БПВ сохраняет позицию «золотого стандарта» лечения пациентов с окклюзионно-стеноотическими поражениями бедренно-подколенного сегмента. Основная идея действующих отечественных рекомендаций состоит в том, что на фоне протяженного атеросклеротического поражения артерий нижних конечностей аутовена является кондуитом выбора (класс I, уровень A). При наличии последней и в условиях отсутствия высокого хирургического риска пациенту показано БПШ (класс I, уровень B) [23, 35].

Согласно клиническим рекомендациям «Заболевания артерий нижних конечностей» Министерства здравоохранения Российской Федерации, большая подкожная вена является наиболее оптимальным трансплантатом для БПШ (уровень доказательности C, класс I). При этом не имеет значения о какой позиции идет речь – реверсированной или *in situ*, в обоих случаях результаты операций сопоставимы. Синтетический протез также демонстрирует субоптимальные

исходы лечения. Кроме того, нет конкретного мнения по поводу применения биологических протезов. Приводится уточнение о высокой эффективности результатов оперативного лечения после их имплантации без статистических подробностей. В дополнение к этому авторы ссылаются на трансатлантический консенсус (TASC II), как регламентирующий документ выбора техники операции, согласно анатомическим характеристикам поражения [35, 96].

Анализ руководств Европейского общества кардиологов и Европейского общества сосудистых хирургов выявил ряд сходств с российскими рекомендациями. Однако существуют некоторые уточнения. В частности, авторы четко указывают, что БПШ следует применять при протяженности поражения более 25 см и ожидаемой продолжительности жизни более 2-х лет (класс I, уровень B). В противном случае предпочтение отдается эндоваскулярным технологиям. В качестве выбора шунта рекомендуется также рассматривать БПВ (класс I, уровень A) [42].

Что же касается места искусственных протезов для БПШ, то последние применяются в ситуации отсутствия аутовены либо при наличии показаний/предпосылок для последующего коронарного шунтирования, где БПВ является критически важным элементом операции. Тем не менее, по данным трансатлантического консенсуса (TASC II), 5-летняя проходимость синтетического протеза уступает аутовене в два, а иногда и в три раза ($\approx 35\%$), поэтому при отсутствии последней следует использовать другую вену хорошего качества, к примеру, с верхней конечности (уровень C). Данный документ дифференцирует подходы реваскуляризации, в зависимости от типа поражения. Так, БПШ рекомендуется применять при типе D, когда речь идет о хронических окклюзиях общей бедренной (ОБА) или поверхностной бедренной артерии (ПБА), превышающих 20 см и вовлекающих подколенную артерию либо при хронической окклюзии ПКА с переходом на проксимальные отделы большеберцовых артерий. Также БПШ можно рассматривать как реваскуляризацию выбора при типе C, если имеются множественные окклюзионно-стенотические поражения длиной более 15 см с выраженным

кальцинозом и без него.

Таким образом, отечественные и зарубежные рекомендации сходятся во мнении, что БПШ показано при наличии протяженных атеросклеротических поражений бедренно-подколенного сегмента, а выбором шунта является большая подкожная вена. Искусственные протезы остаются лишь альтернативным вариантом при реконструкции.

1.2. Выбор в пользу эндоваскулярного или открытого вмешательства

Авторы под руководством А. Farber (2025) в своей работе пишут о том, что БПВ, забранная одним длинным сегментом, традиционно считается золотым стандартом для инфраингвинального шунтирования [70]. Часть публикаций говорит о наличии схожих результатов, как и при БПШ протезами; кроме того, часть исследователей указывает на возможность применения синтетических протезов для БПШ, когда БПВ неадекватна или недоступна. В данной статье авторы стремились оценить долгосрочные результаты инфраингвинального шунтирования на основе типа кондуита для лечения хронической ишемии, угрожающей потерей конечности (ХИУПК). Проанализированы результаты выполнения 784 БПШ с использованием кондуитов, среди которых было 120 протезов, 33 аутологичных вен помимо БПВ, 21 криопресервированные вены и 610 БПВ, забранных одним длинным сегментом. Авторы пришли к выводу, что использование синтетических протезов при инфраингвинальном шунтировании связано с худшими результатами по сравнению с шунтированием с использованием БПВ, забранных одним длинным сегментом. Криотрансплантаты применялись нечасто и также демонстрировали худшие результаты [70].

А. Guntani (2024) в работе, являющейся переводом японского руководства JCS/JSVS 2022 по лечению пациентов с заболеваниями периферических артерий, большое внимание уделяет реконструктивным операциям на артериях бедренно-подколенного сегмента. Автор сообщает о том, что несмотря на то, что в настоящее время эндоваскулярные вмешательства играют важную роль при

выполнении реваскуляризации данного сегмента, регистрируется все больше случаев, когда эндоваскулярные методы не могут дать полноценный эффект, что подтверждает важность процедуры открытого шунтирования. В частности, аутовенозное шунтирование, которое обладает чрезвычайно хорошим долгосрочным результатом, следует активно рекомендовать при длинных стено-окклюзионных поражениях артерий бедренно-подколенного сегмента, в частности, в тех случаях, когда можно ожидать достаточно хорошего долгосрочного прогноза [75].

R.J. Vossen и соавт. (2025) был проведен ретроспективный анализ результатов лечения 676 пациентов с поражением артерий бедренно-подколенного сегмента, которым выполнялось БПШ либо проводилось эндоваскулярное лечение в период с 2004 по 2015 г. Первичными конечными точками были первичная и вторичная проходимость зон реконструкций и частота ампутаций. Для оценки клинической проходимости использовались кривые Каплана-Майера. Модель пропорциональных рисков Кокса использовалась для выявления предикторов первичных конечных точек. Большинству пациентов (58%) выполнялись эндоваскулярные вмешательства, в то время как 42% – БПШ. Медиана наблюдения составила 43 месяца. В этой когорте пациентов наличие ХИУПК в целом было независимо связано со снижением первичной проходимости зон реконструкций. Лучшая вторичная проходимость зон реконструкций была положительно связана с выполнением БПШ, более высоким лодыжечно-плечевым индексом (ЛПИ), наличием большего количества путей оттока на голени и отсутствием у больных ишемической болезни сердца [119].

В статье под авторством M.S. Conte и соавт. (2025) представлены результаты многоцентрового рандомизированного контролируемого исследования BEST-CLI (Лучшая эндоваскулярная терапия против лучшего хирургического лечения у пациентов с критической ишемией конечностей), сравнивающего открытое хирургическое шунтирование и эндоваскулярные вмешательства при ХИУПК у пациентов с заболеваниями периферических артерий с поражением сосудов инфраингвинальной области. Результаты оценивались на основе выбранной

тактики выполненной реваскуляризации: шунтирования с использованием БПВ, забранной единым сегментом (n=621), шунтирования с использованием альтернативных кондуитов (n=236), эндоваскулярных вмешательств (n=923). Не было зарегистрировано существенных различий в 30-дневной смертности, основных неблагоприятных сердечно-сосудистых событиях или серьезных неблагоприятных событиях; однако, у пациентов, кому были выполнены эндоваскулярные вмешательства, отмечался более высокий процент MALE (Major Adverse Limb Events), то есть неблагоприятных событий со стороны конечности в течение 30 дней (13,1% против 2,7%, 3% для SSGSV, AC; $p < 0,001$). Анализ результатов лечения в исследовании BEST-CLI продемонстрировал безопасность и клиническое превосходство шунтирования с использованием аутовены (БПВ), забранной единым сегментом среди пациентов, которым можно было выполнить как открытое, так и эндоваскулярное вмешательство. Авторы пришли к выводу, что оценка качества большой подкожной вены должна быть включена в обязательный план обследования пациентов с ХИУПК, которые являются кандидатами на хирургическое вмешательство [65].

В своей работе R. Rumba и соавт. (2024) сообщили о том, что большая подкожная вена является лучшим трансплантатом для выполнения бедренно-подколенного шунтирования выше щели коленного сустава. Трансвенозное эндоваскулярное шунтирование при этом может служить альтернативой в случае отсутствия подходящей БПВ с сопоставимыми результатами первично-ассистированной и вторичной проходимости зон артериальной реконструкции. Тем не менее, авторы утверждают, что в целом первичная проходимость была существенно ниже среди пациентов, кто перенес эндоваскулярное трансвенозное шунтирование по сравнению с лицами, кому выполнялось шунтирование аутологичной веной. Кроме того, пациентам, кому выполнялось эндоваскулярное трансвенозное шунтирование, требовалось значительное количество вторичных процедур для обеспечения оптимальной проходимости зон артериальной реконструкции. Таким образом, подобное эндоваскулярное лечение следует рассматривать лишь в отсутствие других вариантов шунтирования [104].

Таким образом, вопрос определения тактики реваскуляризации нижних конечностей между эндоваскулярным и открытым методом остается не решенным в связи с наличием очевидных преимуществ и недостатков у каждой из обсуждаемых технологий. При этом открытая технология реваскуляризации конечностей продолжает занимать основные позиции, так как кумулятивная проходимость шунтов в отдаленном периоде остается выше, чем при эндоваскулярной технологии.

1.3. Применение большой подкожной вены для бедренно-подколенного шунтирования: преимущества и недостатки

Реверсированная БПВ – наиболее популярный шунт для БПШ [112]. Применение его реже ассоциируется с тромбозом/рестенозом в госпитальном и отдаленном периодах наблюдения [29, 38]. M. Sharrock и соавт. (2019) провели метаанализ 8 рандомизированных контролируемых исследований, в которых сравнивали БПШ веной и протезом. Была включена 1271 операция (608 БПВ и 663 протеза). Через 5 лет в группе вен первичная проходимость (ОР=1,73, 95% ДИ: 1,17–2,55, $p=0,006$), первичная проходимость (ОР=4,02, 95% ДИ: 2,84–5,70, $p<0,0001$) и вторичная проходимость (ОР=1,83, 95% ДИ: 1,20–2,80, $p=0,005$) были более высокими по сравнению с группой, где применялись протезы. В группе вен требовалось значительно меньше повторных вмешательств (ОР=0,33, 95% ДИ: 0,18–0,60, $p = 0,0003$). В 30-дневный период не наблюдалось значимой разницы в летальности и показаниям к обширной ампутации. Авторы поддержали применение БПВ для БПШ выше щели коленного сустава из-за ее преимуществ по показателям первичной и вторичной проходимости, меньшей потребности в повторном вмешательстве по сравнению с протезными трансплантатами [108]. Однако после применения реверсированной БПВ возможно развитие тромбозов. Диаметр просвета проксимального конца БПВ меньше дистального. В свою очередь, дистальный размер при выполнении анастомоза с ПКА может превышать ее размеры. Несоблюдение конгруэнтности анастомозов приводит к деформации

силы сдвига между стенкой артерии и слоями крови, что провоцирует активацию миоцитов, адгезию и миграцию тромбоцитов с развитием гиперплазии неоинтимы, рестеноза или тромбоза зоны реконструкции [31, 78, 111].

С.Б. Суковатых и соавт. (2016) сравнили результаты 3-х видов аутовенозного БПШ: 1-я группа – реверсированная БПВ; 2-я группа – методика *in situ*; 3-я группа – методика *ex situ* с разрушением клапанов вальвулотомом (методика неревверсированной вены). Применение способа, реализуемого в 3-й группе, позволило снизить частоту госпитальных осложнений на 13,3% по сравнению со 2-й группой и на 23,4% – с 1-й группой; частоту тромбоза шунта в отдаленном периоде наблюдения на 13,3% по сравнению со 2-й группой и на 40% – с 1-й группой. Таким образом, было доказано, что проходимость аутовены может зависеть от техники операции [45].

Ю.И. Казаков и соавт. (2014) проанализировали отдаленные результаты БПШ реверсированной аутовеной у 48 пациентов и у 53 – по методике *in situ*. Пятилетняя проходимость была сопоставимой – 54,2 и 58,5% соответственно [19]. Н.В. Крепкогорский и соавт. (2015) также проанализировали результаты БПШ по методике *in situ*. Среди 33 пациентов в госпитальном послеоперационном периоде было выявлено 3 тромбоза шунта. Авторы связали данные осложнения с отсутствием интраоперационного контроля за качеством вальвулотомии [27]. Эффективность БПШ по методике *in situ* была доказана и в зарубежных публикациях. N. Troisi и соавт. (2021) проанализировали результаты лечения 428 пациентов из 41 центра за период с 2018–2019 гг. В средне-отдаленном периоде первичная проходимость, вторичная проходимость и сохранность конечности составили 78,1; 92,1; 94,7% соответственно [115].

В дальнейшем при изучении причины тромбоза БПВ Н.В. Крепкогорский и соавт. (2019) пришли к выводу, что при применении неревверсированной аутовены последний может развиваться в результате недоразрушения полулунных клапанов при вальвулотомии. Частота этого события достигает 20%. Авторы предложили проверять проходимость БПВ при помощи тепловизора, промывая ее теплым физиологическим раствором. Было доказано, что в госпитальном и отдаленном

периодах наблюдения при применении этого метода в бедренно-подколенной позиции тромбоз аутовены не происходит [25]. М.Р. Кузнецов и соавт. (2017) одной из причин тромбоза аутовены после БПШ назвали протяженное атеросклеротическое поражение ПКА. Авторы разработали новый способ оперативного лечения. Первым этапом реализовывалась полужакрытая эндартерэктомия из ПКА в положении больного на животе. Затем после поворота пациента на спину они выполняли БПШ аутовеной. В госпитальном послеоперационном периоде первичная проходимость шунта достигла 91,2%, вторичная – 97%. В одном случае была выполнена ампутация конечности. Несмотря на то, что авторы выявили высокую эффективность и безопасность заявленного метода, тем не менее была отмечена необходимость в изучении отдаленных результатов [30].

Отдельного внимания по изучению факторов, влияющих на тромбоз аутовены, заслуживает исследование А.В. Куркина и соавт. (2018). Авторы доказали, что при выборе шунта для БПШ в пользу БПВ необходимо предварительно изучать морфологические особенности ее стенки. В ряде случаев наблюдаются такие изменения, как замещение эластичной ткани на коллагеновую, склероз, гипертрофия, атрофия и эластолиз. Такие процессы способны вызывать ранний тромбоз аутовенозного шунта [31]. А.К. Mirza и соавт. (2018) предположили, что частота тромбоза БПВ зависит от способа ее забора. Они сравнили результаты БПШ в группе открытого и эндоскопического выделения аутовены. Через 5 лет после операции первичная проходимость составила 62,8 и 47% соответственно ($p=0,006$). Вторичная не различалась. Таким образом, эндоскопический забор БПВ является неоптимальным методом препаровки, сопряженным с более высокими рисками тромбоза в отдаленном периоде наблюдения [90].

Коллектив авторов О.В. Панасюк и соавт. (2024) из Беларуси в рамках проведенного исследования стремились улучшить результаты БПШ путем модификации технологии выполнения с использованием определенных методик для измерения длины аутовенозного шунта и формирования туннеля и проведения

шунта в тканях. В своей работе авторы приводят информацию о том, что в большинстве случаев к развитию неблагоприятных последствий после выполнения БПШ в раннем послеоперационном периоде могут приводить травматизация венозной стенки при заборе аутотрансплантата, наличие технических ошибок при наложении анастомозов, неудовлетворительное качество аутологичной вены. Авторы делают вывод, что использование реверсированной аутолены с использованием четкого определения длины шунта и прецизионного формирования туннеля для его проведения позволяют добиваться положительных результатов в раннем послеоперационном периоде [36].

Ряд авторов представляют результаты исследования, посвященного выбору оптимальной методики забора и сохранения аутологичной реверсированной вены при выполнении шунтирующих операций у больных с критической ишемией нижних конечностей. В исследование было включено 325 пациентов с облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей (ОААНК); пациенты были разделены на группы в зависимости от методики работы с аутологичной веной: по типу «no touch» и по стандартной методике ее забора и сохранения. В течение наблюдательного периода продолжительностью 2 года оценивались проходимость и стенозирование зон артериальных реконструкций, ампутации и летальность. По результатам исследования авторы пришли к выводу, что забор аутолены по методике «no touch» в исследуемой когорте пациентов может улучшить проходимость шунтов и снизить процент стенозов [29]. Другим осложнением БПШ, характерным в том числе для других видов шунтов, является ложная аневризма анастомоза. В одной из публикаций В.А. Самарцева и соавт. (2021) описан случай развития гигантской псевдоаневризмы центрального анастомоза спустя 13 лет после аутовенозного БПШ. Авторы указывали, что частота подобных состояний может достигать 10% [43]. По данным R. Pogorzelski и соавт. (2013), наиболее частыми причинами последних могут быть: технические ошибки при выполнении анастомоза, истончение/повреждение артериальной стенки, инфекция [101]. Тем не менее, подобные осложнения могут встречаться при применении любых протезов [72, 73, 107].

Numan J. и соавт. (2024) предположили, что уровень навыков и опыта хирургов влияет на частоту развития инфекционных осложнений после открытых реконструктивных операций на артериях конечностей, особенно среди специалистов, выполняющих преимущественно открытые вмешательства либо чаще занимающихся эндоваскулярными процедурами. В исследование в период с 2013 по 2019 г. были включены пациенты, которым выполнялись артериальные конструкции либо «открытым» ($n=153$), либо «эндоваскулярным» хирургом ($n=86$). Инфекционные осложнения оценивались по шкале ASEPSIS. Результаты работы показали, что пациентов с критической ишемией ($p=0,001$), наличием трофических язв на стопе ($p=0,012$), а также требовавших выполнения БПШ, чаще лечили врачи из группы «открытых» хирургов. Изначальный анализ данных показал, что инфекционные осложнения реже встречались среди пациентов, кому открытые операции делали «эндоваскулярные хирурги» (25,6% vs. 38,6%, соответственно, $p=0,042$). Однако после статистического анализа различия были нивелированы (ОР 0.63, 95% ДИ 0,27–1,44, и ОР 0.60, 95% ДИ 0,27–1,33 относительно) [97].

Коллектив российских авторов под руководством Н.А. Бубновой и соавт. (2024) описывают, что наличие тяжелых сопутствующих заболеваний, в целом высокие сердечно-сосудистые риски, наличие инфекционного процесса на фоне ХИУПК, диктует необходимость поиска путей улучшения результатов хирургического лечения данной сложной когорты пациентов, что призвано снизить частоту как местных, так и системных послеоперационных осложнений. Наличие в настоящее время различных методик технического выполнения БПШ аутовеной, в том числе с формированием проксимального анастомоза *c a. profunda femoris*, позволяет улучшать результаты при лечении тяжелых больных с критической ишемией нижних конечностей [2]. БПШ аутовеной при этом остается «золотым стандартом» при проведении открытых реконструкций у пациентов с ХИУПК [76, 82].

Таким образом, обобщая данные отечественной и мировой литературы, на сегодняшний день применение большой подкожной вены при БПШ признано

«золотым стандартом», так как характеризуется наилучшими показателями проходимости и сохранности конечности в отдаленном послеоперационном периоде [48].

Хотелось бы отметить, что в ряде случаев БПВ имеет неудовлетворительный размер, варикозную трансформацию либо посттромботические изменения. Все вышеперечисленные ее структурные или функциональные нарушения ограничивают использование в качестве трансплантата для БПШ.

1.4. Применение синтетического протеза для бедренно-подколенного шунтирования

Эффективность использования того или иного материала для шунтирования можно оценить на основе изучения, в первую очередь, отдаленных результатов операций в сравнении с «золотым стандартом» – применением аутовены. А.В. Гавриленко и соавт. (2018) проанализировали исходы БПШ у 354 пациентов. Были сформированы 4 группы, в зависимости от стратегии реваскуляризации: 1-я группа – БПШ протезом из политетрафторэтилена выше щели коленного сустава ($n = 118$); 2-я группа – БПШ аутовеной выше щели коленного сустава ($n=149$); 3-я группа – БПШ протезом из политетрафторэтилена ниже щели коленного сустава ($n=35$); 4-я группа – БПШ аутовеной ниже щели коленного сустава ($n=52$). Через 5 лет после операции зафиксирована статистически значимая разница в частоте тромбоза шунта ($p<0,0001$): 1-я группа – 39,8%, 2-я группа – 30,9%, 3-я группа – 65,7%, 4-я группа – 44,2%. Предикторами данного события стали: сахарный диабет, курение, повышенная концентрация С-реактивного белка. Авторы доказали значительное преимущество аутовенозного БПШ перед протезом из политетрафторэтилена [7].

С. Uhl и соавт. (2017) также сравнили результаты применения БПВ ($n=76$) и протеза из политетрафторэтилена ($n=75$) у 151 пациента. Тридцатидневная смертность составила 6,6 и 5,3% соответственно ($p=0,508$), ранняя окклюзия трансплантата – 6,6 против 5,3% ($p=0,508$), частота крупных ампутаций – 0 против

2,7% ($p=0,245$). Через 5 лет наблюдения общая первичная проходимость составила 51,7% (55,5 против 51,7%, $p=0,897$), общая вторичная проходимость – 64,2% (74,6 против 55,6%, $p=0,119$). Однако сохранность конечностей значительно различалась (90,0 против 62,9%, $p=0,021$) [116]. А.В. Максимов и соавт. (2015) изучили непосредственные и двухлетние результаты применения данного протеза в бедренно-подколенной позиции у 300 пациентов. В госпитальном периоде наблюдения выявлено 8 (2,7%) тромбозов шунта. В 2-х случаях потребовалась ампутация конечности. В отдаленном послеоперационном периоде тромбоз шунта был выявлен в 25,3% случаев. Авторы пришли к выводу, что в условиях отсутствия пригодной для БПШ аутовены, выбор в пользу протеза из политетрафторэтилена является оптимальным [33]. К подобным выводам пришел и T. Betz и соавт. (2021). В своем исследовании они проанализировали результаты 432 БПШ. У 186 пациентов применялась аутовена, у 246 – протез из политетрафторэтилена. При 5-летнем наблюдении частота первичной проходимости составила 58,1 и 58,3% соответственно, вторичной проходимости – 64,5 и 61,9% [58].

W. Dorigo и соавт. (2022) сравнили результаты БПШ у 109 пациентов с аутологичной подкожной веной и 166 – с политетрафторэтиленом, обработанным гепарином. Авторы применили propensity score-matched и выявили, что первичная проходимость через 5 лет наблюдения составила 41 и 38% соответственно ($p = 0,7$). Вторичная проходимость не различалась. Выживаемость без ампутации составила 58 и 53% соответственно ($p=0,6$) [67].

В исследовании S. Shibutani и соавт. (2020) также оценивались результаты 120 оперативных вмешательств по БПШ с применением данного протеза в 20 медицинских учреждениях. 1- и 2-летняя проходимость составила 82,7%. Путем однофакторного анализа авторы также установили, что наличие 3-х отводных сосудов, дистальных анастомозов с манжетой, отсутствие ишемической болезни сердца и отсутствие хронической болезни почек было достоверно связано с сохранением функциональности протеза в отдаленном периоде наблюдения [109].

Другим видом синтетических протезов для БПШ является трансплантат из

дакрона [105]. В метаанализе Н. Takagi и соавт. (2010) были проанализированы результаты БПШ протезом из дакрона и политетрафторэтилена. Совокупная кумулятивная первичная проходимость трансплантатов составила 60,2% (95% ДИ, 56,4–64,0) и 53,8% (95% ДИ, 46,8–60,9) через 3 года соответственно и 49,2% (95% ДИ, 45,6–52,7) и 38,4% (95% ДИ, 32,2–44,6) – через 5 лет. Авторы пришли к выводу об одинаковой эффективности БПШ с применением обоих видов протеза [113].

А. Assadian и соавт. (2015) предложили применять новый модифицированный протез FUSION (внутренняя поверхность с трикотажным полиэфирным слоем). В течение 30 дней наблюдения проходимость составила 95,3%, но в периоперационном периоде было зарегистрировано 5 тромбозов. 12-месячный показатель первичной проходимости составил 85,6%, вторичной проходимости – 93,2%. Лодыжечно-плечевые индексы увеличились со среднего значения $0,53 \pm 0,20$ до операции до $0,97 \pm 0,16$ через 30 дней и $0,91 \pm 0,22$ через 12 месяцев. В течение 12 месяцев наблюдения 15 пациентов (12,8%) перенесли повторные вмешательства, у одного (0,9%) развилась инфекция трансплантата [57].

При сравнении результатов применения протеза FUSION BIOLINE (покрытый гепарином) и протеза из политетрафторэтилена А.В. Lumsden и соавт. (2015) в рандомизированном контролируемом исследовании получили следующие результаты: первичная проходимость через 6 мес. достигла 86,4 и 70,0% соответственно, разница составила 16,4% (95% доверительный интервал, 2,7–29,9%, $p=0,006$). Данный показатель через 12 месяцев – 76,5 и 67,0% (95% доверительный интервал, от 4,8 до 23,0%; $p=0,05$). Основные нежелательные явления были значительно ниже в группе FUSION BIOLINE и встречались у 17,1% по сравнению с 30,7% в группе политетрафторэтилена ($p=0,033$), главным образом, в результате более низкой частоты повторных вмешательств в течение 12 мес. (16,2 против 30,7%) [87].

Одним из редких осложнений применения синтетического протеза является периэксплантарная серома. О.Г. Шульц и соавт. (2019) описали случай

хирургического лечения пациента с данным образованием гигантского размера через 15 мес. после БПШ [54]. По мнению авторов, в ситуации неэффективности медикаментозного лечения требуется радикальная операция – удаление шунта с реБПШ. В своей публикации они сообщили, что для повторной операции применили синтетический протез из полиэстера с удовлетворительным исходом лечения [50]. Подобный случай описали J.A. Adedigba и соавт. (2021), которые достигли сопоставимого результата только после применения агрессивной хирургической тактики [55]. Другим осложнением БПШ является инфекция зоны операции [101]. Опасность данного состояния связана с риском аррозивного кровотечения и ангиосепсиса, что требует неотложного хирургического лечения. G. Piffaretti и соавт. (2019) в своем многоцентровом исследовании уточнили, что частота летального исхода при развитии данного осложнения может достигать 12% [100]. По данным Т. Miyahara и соавт. (2018), под термином «инфекция области хирургического вмешательства» следует считать развитие последней в течение года после имплантации искусственного протеза. Наиболее частым источником этого осложнения является кожная микрофлора. При изучении посевов чаще всего выделяют *escherichia coli*, *s. Aureus*, *klebsiella spp*, *pseudomonas aeruginosa* [91]. В целом же инфицирование кондуитов является важной и нерешенной проблемой в сосудистой хирургии [77, 91]. Т.И. Выхтюк и соавт. (2019) указали, что оптимальным способом лечения таких пациентов является протезэктомия с последующим аутовенозным реБПШ экстраанатомично, в обход инфицированным участкам раны. Такая тактика характеризуется высокой эффективностью и безопасностью [6].

Таким образом, использование синтетических протезов для БПШ имеет ряд существенных ограничений. В первую очередь, они уступают аутовенозным шунтам по отдалённой проходимости и сохранности конечности. Кроме того, для них характерна высокая частота тромбозов в дистальных позициях, риск инфекционных осложнений и образования сером. Даже новые модифицированные протезы, покрытые гепарином или обладающие усовершенствованной структурой, не лишены этих недостатков. Поэтому

синтетические материалы следует рассматривать как альтернативу лишь в случаях отсутствия пригодной для шунтирования аутовены.

1.5. Применение биологического протеза для бедренно-подколенного шунтирования

P. Lindsey и соавт. (2018) предложили применять трансплантат сонной артерии крупного рогатого скота. Через 5 лет после 124 операций БПШ первичная проходимость составила 67,5%, вторичная – 75,6% [86]. В.А. Луценко и соавт. (2021) оценили госпитальные результаты применения биологического протеза КемАнгиопротез (1-я группа) у пациентов с критической ишемией нижних конечностей, сравнив их с аутовенозным БПШ (2-я группа). В 1-й группе было диагностировано 33,3% (n=7) тромбозов, во второй – 18,7% (n=10). Доказав сопоставимость исходов, авторы рекомендовали применять данный биопротез в ситуации отсутствия подходящей БПВ [32]. Н.Н. Бурков и соавт. (2013) изучили госпитальные результаты применения биологического протеза КемАнгиопротез у 56 пациентов [3]. Структура осложнений состояла из следующих событий: лимфорей (n=21, 6,7%), кровотечение из места анастомоза (n=4, 1,1%) в результате прорезывания лигатуры, тромбоз протеза (n=10, 3,2%). В половине случаев последний развился на фоне недооценки периферического русла, в другой половине – отслойки интимы [3].

М.Ш. Кашаев и соавт. (2018) проанализировали результаты 95 БПШ. При применении биологического протеза КемАнгиопротез частота развития раннего тромбоза составила 6,25%, политетрафторэтилена – 9,75%, аутовены – 13%. Авторы пришли к выводу, что установка ксенобиопротеза в бедренно-подколенной позиции сопряжена с наименьшим риском развития тромбоза [22].

Однако, несмотря на всю оптимистичность госпитальных исходов лечения, отдаленные результаты применения биологических протезов оставляют желать лучшего. Изменения протезов становятся источником тромбообразования и дистальной эмболии, способных вызвать его дисфункцию, развитие острой

ишемии конечности. С целью профилактики аневризматических изменений биологического протеза в отдаленном периоде наблюдения А.О. Ивченко и соавт. (2017) предложили армировать его экстравазально сеткой из никелида титана. В течение 2-летнего периода наблюдения за 36 прооперированными пациентами развития аневризм не наблюдалось. Авторы сделали заключение об эффективности и безопасности заявленного метода. Однако в рутинную клиническую практику данный способ до сих пор не внедрен [18].

Другим наиболее показательным осложнением является тромбоз зоны реконструкции. Б.С. Суковатых и соавт. (2016) сравнили результаты применения биологического протеза (1-я группа) и нереверсированной аутовены с разрушением клапанов вальвулотомом (2-я группа). Через 3 года тромбоз шунта в 1-й группе развился в 83,3% случаев, во 2-й группе – в 16,7% [45]. В исследовании И.С. Тищенко и соавт. (2016) 2-летняя проходимость биологического бедренно-подколенного протеза составила 35,8%, БПВ – 73,7% [50]. Б.С. Суковатых и соавт. (2015) проанализировали местную реакцию организма на имплантацию биологического протеза и протеза из политетрафторэтилена. Выполняя анастомоз с нижней полой веной кролика, авторы обнаружили, что воспалительный ответ на ксенотрансплантант на 14-е сут. выраженнее в 1,14 раза, на 21 сутки – в 1,53 раза, с интенсивным гранулематозом. Таким образом, биологический протез был признан нежелательным видом шунта для операции [47].

Н.Н. Бурков и соавт. (2013) также доказали, что в случае рестеноза или тромбоза биологического протеза КемАнгиопротез отмечается высокая концентрация IgG и IL-8 в крови [3, 4]. В дальнейшем этой же группой авторов была создана математическая модель, способная прогнозировать развитие дисфункции биологического протеза. Ее применение позволило идентифицировать группу пациентов с высоким риском тромбоза последнего в отдаленном периоде наблюдения. Однако ограничением этого подхода стало отсутствие универсальности. Его невозможно было применять после использования синтетических протезов и разных типов аутовены [3–5]. В итоге данная разработка не вошла в рутинную практику.

Таким образом, использование биологических протезов в рутинной клинической практике остается перспективным направлением, однако сопровождается рядом существенных ограничений. Отдаленные результаты их применения часто уступают как аутовене, так и современным синтетическим протезам: отмечаются высокая частота тромбоза зоны реконструкции, риск аневризматических изменений, воспалительные реакции и иммунологическая несостоятельность. Дополнительным ограничением является отсутствие универсальности прогнозирующих моделей и недостаточная внедренность технологий профилактики осложнений в повседневную практику. В результате биологические протезы сегодня следует рассматривать скорее, как альтернативу при невозможности использования аутовены, а не как полноценный «золотой стандарт» для бедренно-подколенного шунтирования.

1.6. Другие виды протезов для бедренно-подколенного шунтирования

А. Neufang и соавт. (2020) оценили результаты 205 БПШ с использованием денатурированного глутаральдегидом полиэфирного сетчатого коллагенового протеза, армированного овечьим коллагеном (Omniflow II). Ранний тромбоз шунта произошел в 8,2% случаев, инфицирование – в 1,95%. Первичная проходимость через 5 лет составила 71%. В 12,6% выявлена биодеградация в виде аневризматической деформации трансплантата. Авторы пришли к выводу, что в случае отсутствия аутовены выбор в пользу данного протеза является оптимальным [92, 93]. К аналогичным выводам пришли А.М. Socrate и соавт. (2021). Авторы проанализировали 5-летние результаты 107 операций БПШ с применением протеза Omniflow II. Показатель первичной проходимости через 1, 2 и 5 лет наблюдения составил $77\% \pm 4$ (95%ДИ: 68–84), $73\% \pm 5$ (95%ДИ: 63,5–83) и $59\% \pm 6$ (95%ДИ: 47–70,5) соответственно. Аневризматическая дегенерация была выявлена у 4 (3,6%) пациентов, инфицирование произошло у 3 (2,7%) пациентов. Выживаемость без ампутации составила $96\% \pm 2$ (95%ДИ: 91–99), $93\% \pm 3$ (95% ДИ: 86–96) и $76\% \pm 5$ (95%ДИ: 66–84) в периоде через 1, 2 и 5 лет соответственно [110].

В.С. Van de Laar и соавт. (2022) сравнили результаты имплантации протеза Omniflow II и протеза из политетрафторэтилена. Наблюдалась тенденция к более активному инфицированию зоны реконструкции в группе Omniflow (40 против 22,9%, $p=0,15$). Через 1 год первичная проходимость составила 60,0 против 46,9% соответственно при БПШ выше щели коленного сустава ($p=0,72$). Показатели вторичной проходимости составили 80,0 против 82,5% ($p=0,89$), сохранности конечности – 83,3 против 100% ($p=0,14$). При БПШ ниже щели коленного сустава частота первичной проходимости через 1 и 2 года составила 36,0 против 41,8% ($p=0,60$) и 36,0 против 31,1% ($p=0,87$). Показатели вторичной проходимости составили 66,8 против 75,2% через 1 год ($p=0,53$) и 58,8 против 48,3% ($p=0,77$) через 2 года. Аневризматическая дегенерация протеза была диагностирована у 8% пациентов в группе Omniflow II. Авторы сделали заключение о сопоставимости результатов хирургического лечения в 2-х группах и пришли к выводу, что выбор между двумя трансплантатами должен осуществляться на основе предпочтений хирурга [117].

Другой вид шунта, который применяется реже остальных, является вена верхней конечности [1]. В работе F.K. Enzmann и соавт. (2021) за период с 1998 по 2018 г. было проанализировано 379 случаев БПШ. В 77% случаев применялась либо основная, либо головная вена руки, в 11% – комбинированные трансплантаты вен, в 12% – базилико-цефалическая петля. Через 3 года наблюдения вторичная проходимость шунта составила 85, 62 и 66% соответственно ($p=0,125$). Авторы сделали заключения о необходимости применения данных кондуитов в ситуации непригодности БПВ [68, 69].

P. Nierlich и соавт. (2020) проанализировали результаты БПШ с применением ипсилатеральной БПВ ($n=644$), контралатеральной БПВ ($n=186$), малой подкожной вены ($n=101$) и вен рук ($n=357$). Через 5 лет наблюдения вторичная проходимость составила 75% в 1-й и 2-й группах, 65% – в 3-й группе ($p=0,47$) [94, 95].

G.K. Ambler и соавт. (2018) провели анализ результатов БПШ 19 рандомизированных контролируемых исследований (3123 пациента).

Сравнивались несколько типов трансплантатов: аутологичная вена, политетрафторэтилен, пупочная вена человека, полиуретан, дакрон, FUSION BIOLINE. При БПШ выше щели коленного сустава было выявлено, что аутологичные венозные трансплантаты улучшают первичную проходимость по сравнению с протезными трансплантатами к 60 мес. (OR=0,47, 95% ДИ 0,28–0,80; $p=0,005$). Данная тенденция привела и к улучшению вторичной проходимости к 60 мес. (OR=0,41, 95% ДИ 0,22–0,74; $p=0,003$). Однако дакронные трансплантаты улучшили вторичную проходимость через 24 месяца после операции (OR=1,54, 95% ДИ 1,04–2,28; $p=0,03$). Пупочная вена человека показала преимущества в первичной проходимости по сравнению с политетрафторэтиленом через 24 мес. (OR = 4,80, 95% ДИ 1,76–13,06; $p=0,002$). Это преимущество также наблюдалось через 60 месяцев (OR = 3,75, 95% ДИ 1,46–9,62; $p=0,006$). Результаты были аналогичными и для вторичной проходимости через 24 месяца (OR=4,01, 95% ДИ 1,44–11,17) и через 60 месяцев (OR = 3,87, 95% ДИ 1,65 до 9,05). Для БПШ ниже щели коленного сустава не было обнаружено преимущества одного протеза перед другим с точки зрения первичной проходимости. Однако одно исследование показало лучшую вторичную проходимость пупочной вены человека по сравнению с политетрафторэтиленом во всех временных точках до 24 месяцев (OR=3,40, 95% ДИ 1,45–7,97; $p=0,005$) [56].

При изучении трансплантата пупочной вены для БПШ – «трансплантата Дардика» или пупочной вены человека, стабилизированной глутаровым альдегидом, следует отметить обзор литературы, подготовленный O. Borghese и соавт. (2020). Авторы проанализировали результаты 977 операций за период с 1976–2018 гг. При среднем периоде наблюдения 4,3 года (от 3 до 6 лет) первичная проходимость и вторичная проходимость составляли 61,3 и 61% соответственно. Образование аневризм выявлено в 3% случаев ($n=21$), инфицирование трансплантата – в 24,4% случаев ($n=31$), тромбоз – в 25,5% случаев ($n=193$). Результаты исследования показали субоптимальные результаты применения данного вида кондуита. Это позволяет сделать вывод о том, что трансплантат пупочной вены не может быть кондуитом выбора для БПШ [61].

В случаях с криоконсервированными человеческими трансплантатами необходимо отметить, что они могут применяться, когда другие виды кондуитов недоступны [74].

К.А. Guevara-Noriega и соавт. (2019) опубликовали результаты 149 операций БПШ. Общая частота окклюзии, инфицирования и аневризматического расширения трансплантата составила 52,3; 6 и 5,4% соответственно. 30-дневная летальность – 0,7%. Пятилетняя первичная проходимость и частота спасения конечностей – 38,6 и 50,2% соответственно. Выживаемость через 5 лет составила 54,2%. Частота отсутствия серьезных нежелательных явлений со стороны конечностей – 21,5% через 5 лет [74]. В работе О. Borghese и соавт. (2020) были проанализированы 73 БПШ с использованием криоконсервированного человеческого аллотрансплантата. Общая однолетняя первичная проходимость составила 35%. Авторы доказали неоптимальные показатели среднесрочных и долгосрочных результатов с высокой частотой тромбоза шунта и ампутаций [61].

Таким образом, перечисленные виды протезов во многом уступают результатам БПШ аутовеной. Однако в ситуации, когда БПВ варикозно расширена и, казалось бы, не пригодна, появился нетривиальный вариант. А. Neufang и соавт. (2018) предложили использовать подобные аутологичные вены, предварительно армировав их стандартным протезом из политетрафторэтилена. За период с 1995–2006 гг. было проанализировано 54 таких операций. Проходимость шунта через 5 лет наблюдения составила 73%. Выживаемость, свободная от ампутации, достигла 83%. Предложенный способ стал одним из оптимальных вариантов лечения этой когорты больных [93].

Использование альтернативных кондуитов при бедренно-подколенном шунтировании расширяет возможности хирургической коррекции, особенно при отсутствии подходящей аутовены. Вместе с тем, многие из них уступают традиционным аутовенозным протезам по отдаленным результатам: чаще возникают тромбы, инфекции и аневризмы, снижаются показатели проходимости и сохранения конечности. Такие материалы подходят лишь как временная мера, не являясь полноценной заменой общепринятым методикам.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Общая характеристика пациентов

В данное ретроспективно-проспективное когортное продольное сравнительное исследование было включено 490 пациентов с протяженным окклюзионным поражением бедренно-подколенного артериального сегмента, которым потребовалось выполнение открытой реваскуляризации в объеме БПШ. Исследование одобрено этическим комитетом ГБУЗ “Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского” Министерства здравоохранения Краснодарского края (протокол №114 от 23 ноября 2022 г.).

Критерии включения в исследование:

Наличие протяженного атеросклеротического окклюзионного поражения артерий бедренно-подколенного сегмента (25 см и более) с показаниями для шунтирующей операции.

Критерии невключения в исследование: наличие состояний или патологии, лимитирующей мониторинг за пациентом в отдаленном периоде наблюдения (острые инфекционные заболевания), декомпенсированная коморбидная патологии (декомпенсированный сахарный диабет, хроническая сердечная недостаточность в стадии декомпенсации и т. д.).

Критерии исключения: необходимость выполнения шунтирующей операции на контралатеральной конечности, необходимость выполнения реваскуляризации в прочих артериальных бассейнах помимо поражения артерий бедренно-подколенного сегмента. Во всех случаях по данным мультиспиральной компьютерной томографии с ангиографией было выявлено протяженное (25 см и более) атеросклеротическое окклюзионное поражение ПБА, соответствующее типу D согласно трансатлантическому консенсусу (TASC II).

Выбор способа реваскуляризации и вида шунта осуществлялся мультидисциплинарным консилиумом в составе сосудистого хирурга,

эндоваскулярного хирурга, кардиолога, реаниматолога, анестезиолога.

Все исследуемые пациенты были разделены на 6 групп, в зависимости от вида шунта, используемого для реализации БПШ:

1-я группа (n=266) – реверсированная аутовена (большая подкожная вена (БПВ));

2-я группа (n=59) – аутовена (БПВ), подготовленная по методике *in situ*;

3 группа (n=66) – аутовена (БПВ), подготовленная по методике *ex situ* (методика нереверсированной вены с ортотопическим её расположением);

4 группа (n=73) – БПШ поверхностными венами верхней конечности;

5 группа (n=17) – БПШ с использованием артериализованной вены (с предварительным формированием артериовенозной фистулы, АВФ);

6 группа (n=9) – БПШ с использованием синтетического протеза (Jotec, Германия).

После дополнительного применения критериев исключения (необходимость выполнения шунтирующей операции на контралатеральной конечности, необходимость выполнения реваскуляризации в прочих артериальных бассейнах помимо поражения артерий бедренно-подколенного сегмента), из исследования были исключены данные 41 пациента.

Для последующего 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* (методика нереверсированной 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).

Дизайн исследования представлен на Рисунке 1.

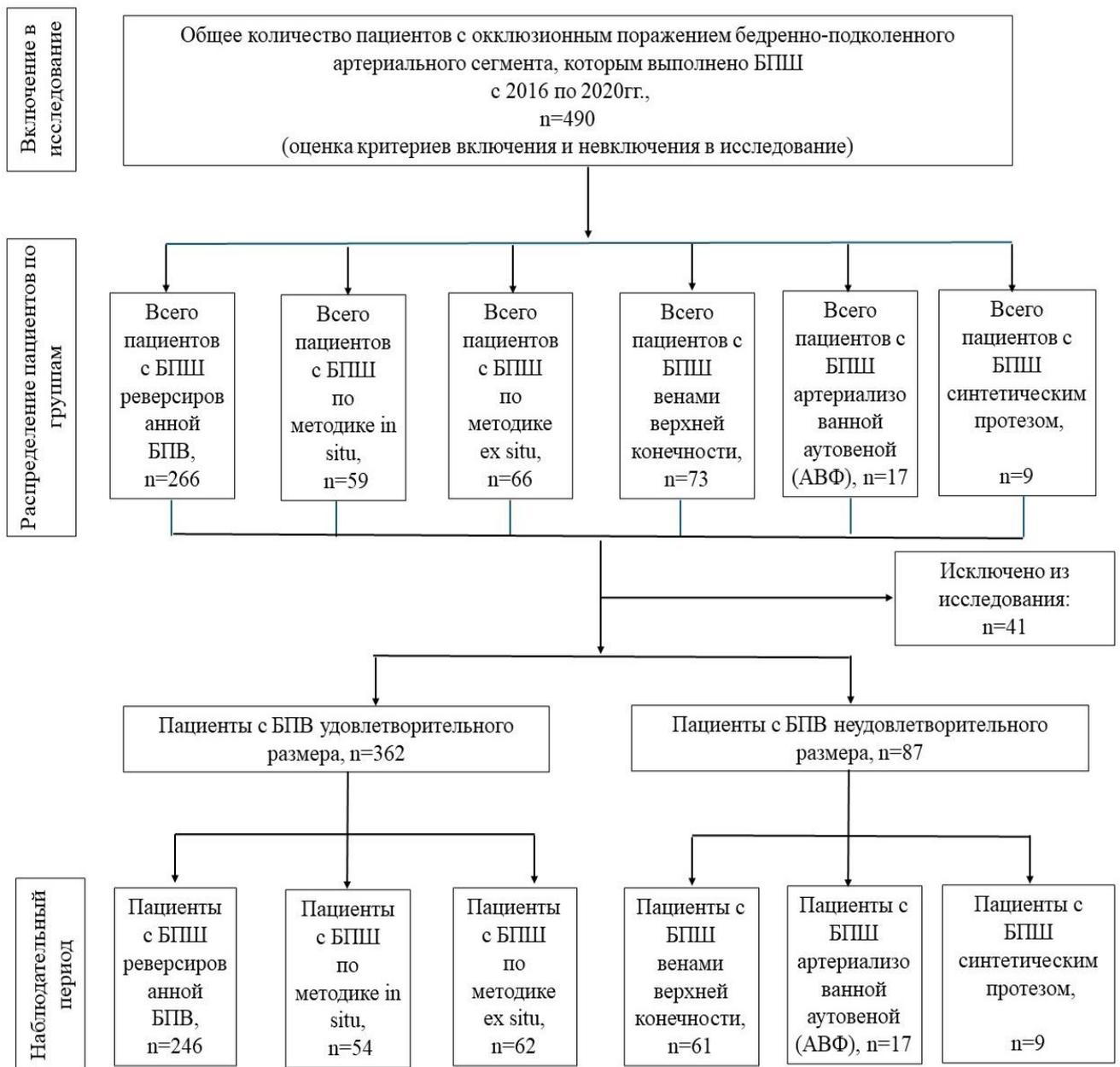


Рисунок 1 – Дизайн исследования. Диаграмма потока данных ретроспективно-проспективного когортного продольного сравнительного исследования

2.1.1. Оценка неблагоприятных исходов

В госпитальном периоде наблюдения производилась оценка следующих видов осложнений: летальный исход, инфаркт миокарда (ИМ), тромбоз шунта, кровотечение типа 3b и выше (требующие ревизии раны) по шкале Bleeding Academic Research Consortium (BARC), инфицирование послеоперационной раны, ампутация конечности, острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), комбинированная конечная точка (сумма всех перечисленных осложнений).

В отдаленном периоде наблюдения ($47,6 \pm 12,3$ месяцев) проводилась оценка следующих видов осложнений: летальный исход, тромбоз шунта, ампутация конечности, ИМ. При этом при развитии летального исхода или выполнении ампутации реваскуляризированной конечности пациент исключался из выборки.

2.1.2. Общеклинические и лабораторные методы исследования

Всем пациентам проводились общеклинические исследования, включавшие в себя: выяснение жалоб, сбор анамнеза, осмотр, пальпация, измерение артериального давления, пульса, измерение роста и веса.

Лабораторные исследования включали в себя общий анализ крови, мочи, биохимический анализ крови, коагулограмму, группу крови и резус-фактор. Перечисленные исследования выполнялись без исключения всем пациентам.

2.1.3. Специальные методы исследования

Методика выполнения компьютерной томография артерий нижних конечностей с контрастным усилением

Компьютерную томографию артерий нижних конечностей (КТА) проводили на компьютерном томографе Somatom Definition Flash 256 в режиме Dual Energy (Siemens) с использованием 2-х источников рентгеновского излучения. КТА включала в себя нативное сканирование нижних конечностей с последующим

сканированием артерий нижних конечностей после внутривенного введения контрастного вещества. Применялся шприц-инжектор производства Ulrich, использовались современные неионные йодсодержащие контрастных препаратов.

Сканирование артерий нижних конечностей проводилось в артериальную фазу исследования при достижении концентрации контрастного вещества в просвете инфраренального отдела аорты до 100 HU. Толщина срезов при выполнении КТА составляла 0,75 мм, при шаге спирали 0,6 мм. Итоговая визуализация, позволявшая проводить полноценную оценку артериального русла нижних конечностей, проводилась путем построения многоплоскостных объемных реконструкций.

Методика выполнения ангиографии артерий нижних конечностей

Цифровая субтракционная ангиография (Digital subtraction angiography (DSA)) проводилась на ангиографических системах Siemens AXIOM ARTIS ZEE (Германия) и General Electric INNOVA (США). Использовались радиальный либо трансфеморальный ретроградный доступы. В качестве контрастных веществ использовались неионные йодсодержащие контрастные препараты с содержанием йода 350 мг/л («Йогексал» и аналоги), со скоростью записи не менее 4 кадров в минуту.

Применение ангиографии по типу DSA позволяет создавать на серии ангиографических снимков с меняющимся контрастным заполнением «маску» из начального кадра, которая далее вычитается (“subtraction”) из последующих серий, что дает возможность провести оптимальную визуализацию артерий конечностей в отсутствие «помех», которые могут создавать при визуализации костные структуры либо окружающие мягкие ткани.

Методика выполнения ультразвукового исследования артерий и вен конечностей

Ультразвуковое исследование артерий и вен как нижних, так и верхних

конечностей при наличии показаний, проводили на ультразвуковых сканерах экспертного уровня Acuson S2000 производства компании Siemens при помощи линейного датчика с частотой излучения 5–10 МГц и конвексного датчика с частотой излучения 1–7 МГц.

Для оценки качественных характеристик, наличия структурных особенностей артерий и вен, количественной оценки кровотока, использовались современные режимы ультразвукового сканирования: В-режим (“brightness”), С-режим (“color”), PWD – импульсно-волновой доплеровский режим (“pulse-wave doppler”) с тщательной оценкой спектрограмм.

Методика определения лодыжечно-плечевого индекса

Для определения лодыжечно-плечевого индекса (ЛПИ) пациентам выполнялось доплерографическое исследование параметров кровотока в тиббиальных артериях (задней и передней большеберцовой артериях), на аналогичном оборудовании, которое использовалось при выполнении УЗИ артерий и вен конечностей. Оценка кровотока проводилась у пациентов после пребывания в горизонтальном положении в покое не менее 10 минут. В ходе исследования определялась пиковая систолическая скорость кровотока в плечевой и берцовых артериях для оценки базовых характеристик кровотока. Для непосредственного определения систолического давления в артериях голени манжета сфигмоманометра накладывалась на 2 см выше лодыжек, по мере нагнетания давления в манжету и ее ослабления, регистрировался момент восстановления доплеровской волны ниже манжеты. Далее систолическое давление определялось на каждом плече, с использованием наибольшего из показателей между левой и правой верхней конечностью. Определение систолического давления выполнялось дважды, для итогового расчета использовались средние показатели. ЛПИ рассчитывался путем деления систолического давления в задней большеберцовой артерии на систолическое давление в плечевой артерии.

2.2. Описание методик выполнения бедренно-подколенного шунтирования

Несмотря на то, что методики выполнения бедренно-подколенного шунтирования широко описаны в учебных пособиях и руководствах, в различных школах и клиниках сосудистой хирургии имеются отличия при выполнении того или иного вмешательства [26, 37–39, 120]. Во избежание разночтений при использовании того или иного метода шунтирования, мы приводим подробное описание хода вмешательств, которые были выполнены в рамках данного диссертационного исследования.

2.2.1. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования реверсированной большой подкожной веной

Бедренно-подколенное шунтирование реверсированной большой подкожной веной выполняют следующим образом: производят доступы к общей бедренной артерии, поверхностной бедренной артерии и глубокой бедренной артерии по линии Кена. Артерии мобилизуют, берут на держалки, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место проксимального анастомоза. Производят доступ к подколенной артерии в верхнем (проксимальном) или нижнем (дистальном) сегменте, артерию мобилизуют, берут на держалку, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место дистального анастомоза. Убедившись в шунтабельности артериального русла, производят подготовку БПВ для аутотрансплантации: последовательно выделяют вену от сафено-фemorального соустья и дистальнее на необходимую длину с лигированием по ходу выделения всех притоков, далее проксимальный и дистальный концы шунта перевязывают, пересекают. Вену извлекают из раны и в ее дистальный конец вводят металлическую канюлю, фиксируют ее. В канюлю шприцем вводят изотонический раствор хлорида натрия с гепарином, посегментно проверяя герметичность шунта и перевязывая или прошивая при необходимости дефекты. Поместив вену в холодный изотонический раствор хлорида натрия с гепарином,

производят подкожное туннелирование для аутотрансплантата. Внутривенно вводят 5000 ЕД гепарина. Выделенные артерии в ранах пережимают, вену (аутотрансплантат) реверсируют и проводят по заранее подготовленному тоннелю. Последовательно формируют анастомозы между выделенными артериями и концами шунта полипропиленовыми нитями, запускают кровоток (Рисунок 2).

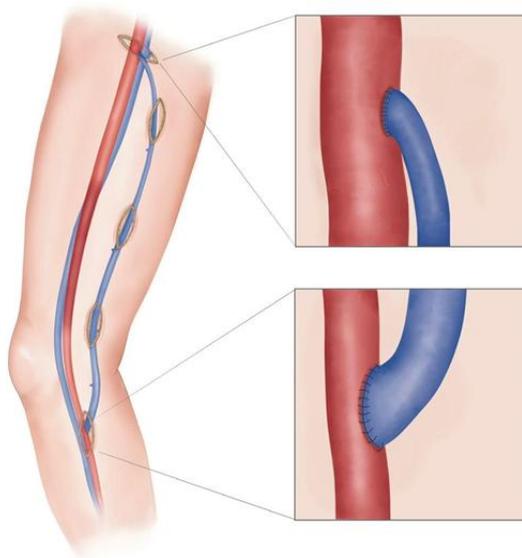


Рисунок 2 – Методика бедренно-подколенного шунтирования реверсированной большой подкожной веной

2.2.2. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования большой подкожной веной *in situ*

Способ лечения выполняют следующим образом: производят доступы к общей бедренной артерии, поверхностной бедренной артерии и глубокой бедренной артерии по линии Кена. Артерии мобилизуют, берут на держалки, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место проксимального анастомоза. Производят доступ к подколенной артерии в верхнем (проксимальном) или нижнем (дистальном) сегменте, артерию мобилизуют, берут на держалку, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место дистального анастомоза. Убедившись в шунтабельности артериального русла, производят подготовку большой подкожной вены для шунтирования: мобилизуют вену у сафено-фemorального соустья и у места предполагаемого анастомоза с

подколенной артерией. Пересекают, концы лигируют. По всей длине вены выделяют и перевязывают ранее промаркированные притоки. Внутривенно вводят 5000 ЕД гепарина. Пережимают общую, поверхностную и глубокую бедренные артерии. Формируют анастомоз между проксимальным концом вены и общей бедренной артерией. В дистальный конец вены вводят специальный вальвулотом необходимого размера для разрушения клапанов. Запускают кровоток по шунту, кровь устремляется дистально до первого клапана, препятствующего потоку. Вальвулотом проводят вверх за клапан и разрушают его. Так поступают с каждым нижерасположенным клапаном, пока из шунта не появится пульсирующая артериальная струя. Далее формируют анастомоз между дистальным концом шунта и подколенной артерией, запускают кровоток (Рисунок 3).

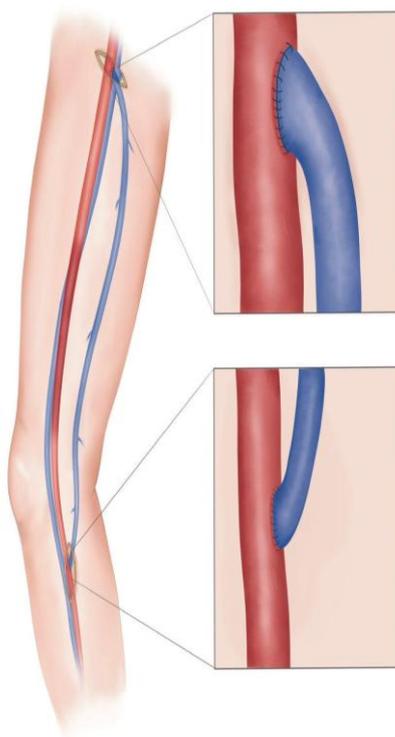


Рисунок 3 – Методика бедренно-подколенного шунтирования *in situ*

2.2.3. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования большой подкожной веной *ex situ* (методика нереверсированной вены)

Методика выполняется под эндотрахеальным наркозом в положении

больного на спине после обработки операционного поля раствором йодопирона дважды. Производят доступы к общей бедренной артерии, поверхностной бедренной артерии и глубокой бедренной артерии по линии Кена: выполняется дугообразный разрез кожи от точки выше паховой складки по ходу портняжной мышцы так, чтобы вогнутая часть дуги была обращена медиально. Подкожную клетчатку рассекают у латерального края кожи с обходом лимфоузлов, далее рассекают поверхностную фасцию, затем глубокую фасцию, обнажая бедренные сосуды. Периартериальную оболочку вскрывают на всем протяжении проксимально и дистально. Артерии мобилизуют, берут на держалки, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место проксимального анастомоза. Производят доступ к подколенной артерии в верхнем (проксимальном) или нижнем (дистальном) сегменте.

В верхнем (проксимальном) сегменте кожный разрез выполняют в нижней трети бедра вдоль переднего края портняжной мышцы, рассекают подкожную клетчатку, поверхностную фасцию, глубокую фасцию. Далее диссекцию тканей тупым способом производят между портняжной мышцей, отводя ее медиально от широкой медиальной мышцы бедра. Рассекают общее фасциальное влагалище сосудистого пучка, обнажив артерию, вскрывают. Артерию мобилизуют и скелетизируют, берут на держалку, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место дистального анастомоза. В нижнем (дистальном) сегменте кожный разрез выполняется на сантиметр дистальнее медиального мыщелка бедренной кости параллельно диафизу большеберцовой кости. Рассекают подкожную клетчатку, фасцию голени, далее диссекцию тканей продолжают ниже сухожилия полусухожильной мышцы, вскрывают глубокую фасцию, медиально отводят медиальную головку икроножной мышцы. Рассекают общее фасциальное влагалище сосудистого пучка, обнажив артерию, вскрывают. Артерию мобилизуют и скелетизируют, берут на держалку, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место дистального анастомоза.

Убедившись в «шунтабельности» артериального русла, осуществляют подготовку большой подкожной вены для аутооттрансплантации: рассекают кожу

отдельными разрезами вдоль проекции большой подкожной вены, подкожную клетчатку, поверхностную фасцию – последовательно выделяют вену от сафено-фemorального соустья и дистальнее на необходимую длину с лигированием по ходу выделения всех притоков, далее проксимальный и дистальный концы вены перевязывают, пересекают. Сформированный таким образом аутотрансплантат для шунтирования извлекают из раны и в его просвет, у дистального конца, вводят металлическую канюлю, фиксируют ее лигатурой. В канюлю шприцем вводят изотонический раствор хлорида натрия с гепарином, посегментно проверяя герметичность аутотрансплантата и перевязывая или прошивая при необходимости дефекты. Далее в проксимальный конец аутотрансплантата вводят вальвулотом: последовательно поступательными движениями разрушая в дистальном направлении полулунные клапаны. Через ранее установленную металлическую канюлю шприцем под давлением в аутотрансплантат через проксимальный конец вводят изотонический раствор натрия хлорида, имитируя кровотоки и проверяя качество проведенной вальвулотомии. При необходимости разрушение полулунных клапанов повторяют. Помещают аутотрансплантат в холодный изотонический раствор хлорида натрия с гепарином.

Затем туннелером Sheath Tunneler Set (Peripheral Vascular, USA) производят ортотопическое туннелирование для аутотрансплантата под глубокой фасцией непосредственно по ходу сосудисто-нервного пучка в направлении от подколенной артерии к общей бедренной.

В верхнем (проксимальном) сегменте канал, образованный туннелером, латерально ограничен медиальной широкой мышцей, медиально и кзади – большой приводящей мышцей, кпереди – межмышечной перегородкой.

В нижнем (дистальном) сегменте канал, образованный туннелером, в нижней трети медиально ограничен средней и медиальной головкой икроножной мышцы, кпереди сухожилием большой приводящей мышцы, латерально подколенной мышцей; верхние две трети ограничены латерально медиальной широкой мышцей, медиально и кзади – большой приводящей мышцей, кпереди – межмышечной перегородкой. Внутривенно вводят 5000 ЕД гепарина. Выделенные

артерии в ранах пережимают, вену ортотопически проводят между артериальными доступами по заранее подготовленному тоннелю. Последовательно формируют анастомозы между выделенными артериями и концами шунта полипропиленовыми нитями, запускают кровоток (Рисунок 4).

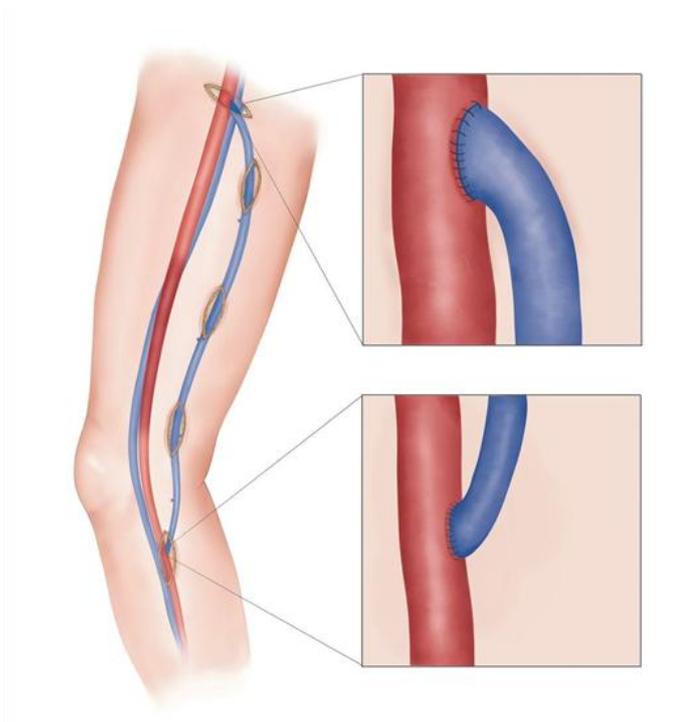


Рисунок 4 – Методика бедренно-подколенного шунтирования *ex situ* (методика нереверсированной вены)

2.2.4. Методика выполнения бедренно-подколенного шунтирования с использованием вен верхних конечностей

У пациентов с малым диаметром применимо выполнение БПШ с использованием вен верхних конечностей [89, 114]. Данный способ позволяет подготовить БПВ и сохранить все преимущества аутовенозного кондуита (при сравнении с группой пациентов БПШ с синтетическим протезом) (Рисунок 5).

Первым этапом осуществляют формирование артериовенозной фистулы на верхней конечности: под местной анестезией производят клюшкообразный разрез кожи по латеральной поверхности в области лучезапястного сустава верхней конечности. Поочередно выделяют и берут на держалки дистальный отдел лучевой артерии и латеральную подкожную вену (*v. cephalica*). Гепарин 2500 Ед

в/в. На лучевую артерию накладывают сосудистые зажимы типа бульдог. Формируется артериовенозная фистула с диаметром анастомоза не более 1 см. Поперечная артериотомия 1,0 см. Латеральную подкожную вену пересекают, дистальный конец лигируют. Формируют анастомоз непрерывным обвивным швом полипропиленовой нитью по типу конец вены в бок артерии.

В течение двух недель происходит артериализация латеральной подкожной вены. После выполнения ультразвукового исследования верхней конечности с целью определения шунтабельности (определение диаметра вены) решается вопрос о втором этапе оперативного вмешательства.

Второй этап выполняется двумя хирургическими бригадами. Первая хирургическая бригада производит доступы к общей бедренной артерии, поверхностной бедренной артерии и глубокой бедренной артерии по линии Кена: выполняется дугообразный разрез кожи от точки выше паховой складки по ходу портняжной мышцы так, чтобы вогнутая часть дуги была обращена медиально. Подкожную клетчатку рассекают у латерального края кожи с обходом лимфоузлов, далее рассекают поверхностную фасцию, затем глубокую фасцию, обнажая бедренные сосуды. Периартериальную оболочку вскрывают на всем протяжении проксимально и дистально. Артерии мобилизуют, берут на держалки, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место проксимального анастомоза. Производят доступ к подколенной артерии в верхнем (проксимальном) или нижнем (дистальном) сегменте.

В верхнем (проксимальном) сегменте кожный разрез выполняют в нижней трети бедра вдоль переднего края портняжной мышцы, рассекают подкожную клетчатку, поверхностную фасцию, глубокую фасцию. Далее диссекцию тканей тупым способом производят между портняжной мышцей, отводя ее медиально от широкой медиальной мышцы бедра. Рассекают общее фасциальное влагалище сосудистого пучка, обнажив артерию, вскрывают. Артерию мобилизуют и скелетизируют, берут на держалку, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место дистального анастомоза.

В нижнем (дистальном) сегменте кожный разрез выполняется на сантиметр

дистальнее медиального мыщелка бедренной кости параллельно диафизу большеберцовой кости. Рассекают подкожную клетчатку, фасцию голени, далее диссекцию тканей продолжают ниже сухожилия полусухожильной мышцы, вскрывают глубокую фасцию, медиально отводят медиальную головку икроножной мышцы. Рассекают общее фасциальное влагалище сосудистого пучка, обнажив артерию, вскрывают. Артерию мобилизуют и скелетизируют, берут на держалку, производят ревизию пальцем и пинцетом, намечают место дистального анастомоза.

Вторая хирургическая бригада осуществляет подготовку латеральной подкожной вены для аутооттрансплантации. Выполняются отдельные разрезы на верхней конечности от уровня формирования артериовенозной фистулы в области лучезапястного сустава и выше. Рассекают кожу, подкожную клетчатку, последовательно выделяют вену от артериовенозного соустья и проксимальнее на необходимую длину с лигированием по ходу выделения всех притоков, далее проксимальный и дистальный концы вены перевязывают, пересекают. Сформированный таким образом аутооттрансплантат для шунтирования извлекают из раны и в его просвет, у дистального конца, вводят металлическую канюлю, фиксируют ее лигатурой. В канюлю шприцем вводят изотонический раствор хлорида натрия с гепарином, посегментно проверяя герметичность аутооттрансплантата и перевязывая или прошивая при необходимости дефекты. Далее в проксимальный конец аутооттрансплантата вводят вальвулотом: последовательно поступательными движениями разрушая в дистальном направлении полулунные клапаны. Через ранее установленную металлическую канюлю шприцем под давлением в аутооттрансплантат через проксимальный конец вводят изотонический раствор натрия хлорида, имитируя кровоток и проверяя качество проведенной вальвулотомии. При необходимости разрушение полулунных клапанов повторяют. Помещают аутооттрансплантат в холодный изотонический раствор хлорида натрия с гепарином. Затем туннелером Sheath Tunneler Set (Peripheral Vascular, USA) производят ортотопическое туннелирование для аутооттрансплантата под глубокой фасцией непосредственно по ходу сосудисто-

нервного пучка в направлении от подколенной артерии к общей бедренной. В верхнем (проксимальном) сегменте канал, образованный туннелером, латерально ограничен медиальной широкой мышцей, медиально и кзади – большой приводящей мышцей, кпереди – широкоприводящей межмышечной перегородкой.

В нижнем (дистальном) сегменте канал, образованный туннелером, в нижней трети медиально ограничен средней и медиальной головкой икроножной мышцы, кпереди сухожилием большой приводящей мышцы, латерально подколенной мышцей; верхние две трети ограничены латерально медиальной широкой мышцей, медиально и кзади – большой приводящей мышцей, кпереди – широкоприводящей межмышечной перегородкой. Внутривенно вводят 5000 ЕД гепарина. Выделенные артерии в ранах пережимают, вену ортотопически проводят между артериальными доступами по заранее подготовленному тоннелю. Последовательно формируют анастомозы между выделенными артериями и концами шунта полипропиленовыми нитями, запускают кровоток.

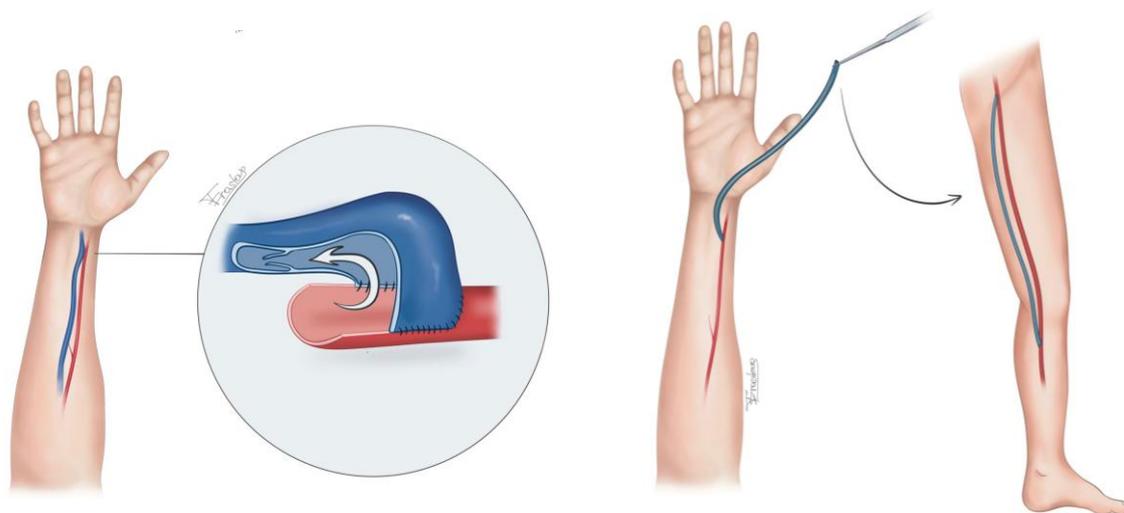


Рисунок 5 – Подготовка вен верхней конечности для бедренно-подколенного шунтирования

2.2.5. Бедренно-подколенное шунтирование с использованием синтетического протеза

Выполнение бедренно-подколенного шунтирования с использованием

синтетического протеза осуществляется при отсутствии аутовенозного материала и возможности подготовки вены руки следующим образом: выполняется стандартный доступ к бедренным артериям по линии Кена с выделением последних. Далее осуществляется доступ к подколенной артерии с оценкой шунтабельности русла. После выделения проксимального и дистального доступов синтетический протез из ПТФЕ проводится ортотопически с помощью туннелера Sheath Tunneler Set (Peripheral Vascular, USA) таким образом, что синтетический протез располагается по ходу созданного канала (ранее изложено в разделе 2.5). Далее осуществляется поочередное формирование проксимального и дистального анастомозов. При формировании дистального анастомоза с целью улучшения проходимости синтетического протеза дистальный анастомоз может создаваться с использованием аутовенозной вставки [106]; в случае данного исследования - сапожка Святой Марии (Рисунок 6).

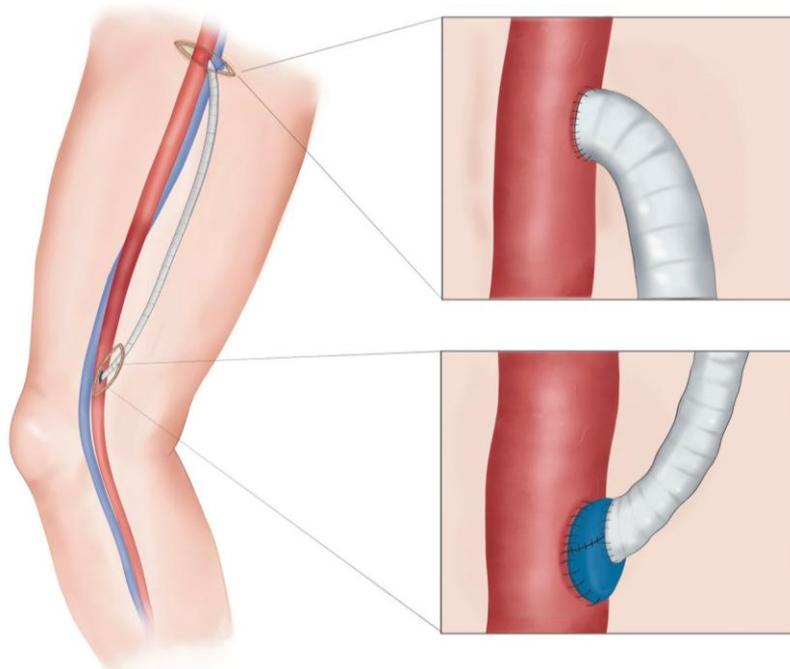


Рисунок 6 – Бедренно-подколенное шунтирование с использованием аутовенозной вставки

2.3. Новый метод бедренно-подколенного шунтирования с использованием артериализованной большой подкожной веной

Нами был предложен новый метод бедренно-подколенного шунтирования,

позволяющий выполнять бедренно-подколенное шунтирование пациентам, у которых диаметр большой подкожной вены был менее 3 мм («Способ бедренно-подколенного шунтирования при суженном диаметре большой подкожной вены» (№ 2795539 от 08.04.2022)). При этом первым этапом осуществлялось создание артериовенозной фистулы на нижней конечности (между ОБА и дистальным концом реверсированной БПВ) и на руке. В первую очередь рассматривалось выполнение артериовенозной фистулы на ноге ввиду малой травматизации в сравнении с формированием фистулы на руке.

Данный способ осуществлялся следующим образом: первым этапом выполнялся доступ к большой подкожной вене в дистальном ее конце, соответственно длине предполагаемого шунта. Большая подкожная вена в дистальном конце отсекалась и выделялась до середины длины предполагаемого шунта отдельными разрезами. После выделения ее до середины на бедре по переднемедиальной поверхности создавалось специальное субфасциальное ложе для расположения реверсированной БПВ. Далее выполняется стандартный доступ по линии Кена к ОБА. После выделения ОБА осуществляют проведение реверсированной БПВ из созданного субфасциального ложа к ОБА, при этом кроссэктомия не выполняется. Далее формируется анастомоз между ОБА и дистальным концом БПВ по типу «конец в бок» (Рисунок 7).

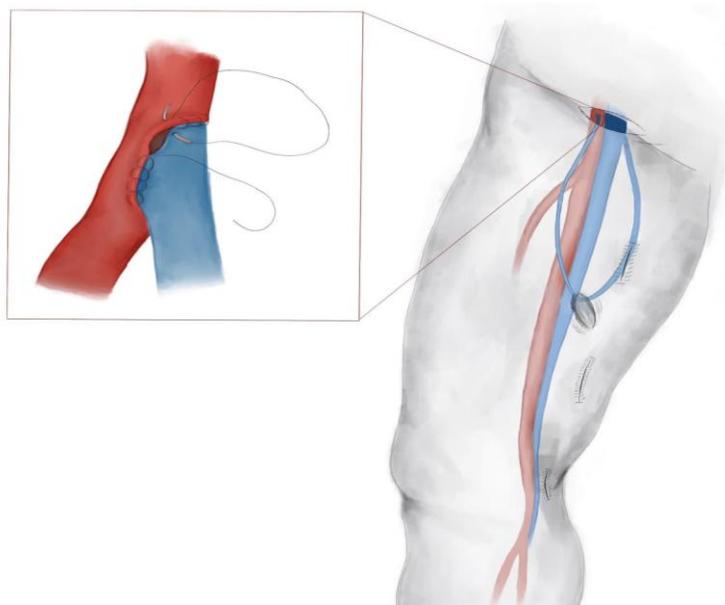


Рисунок 7 – Первый этап подготовки артериовенозной фистулы на ноге

После увеличения диаметра БПВ (в среднем около 2-х недель) выполняли второй этап бедренно-подколенного шунтирования – кроссэктомию, формирование дистального анастомоза с ПКА. Для этого осуществляется доступ к устью БПВ, после чего выполняется кроссэктомией и выделение проксимальной части БПВ (до области созданного субфасциального ложа) (Рисунок 8). Все притоки БПВ перевязываются. Далее выполняется доступ к области формирования дистального анастомоза (ПКА/берцовые артерии). После выделения артерии и оценки ее на шунтабельность осуществляется проведение проксимальной части БПВ из созданного субфасциального ложа к дистальному артериальному доступу таким образом, что осуществляется полное реверсирование БПВ. Далее формируется дистальный анастомоз между ПКА/берцовыми артериями и реверсированным проксимальным концом БПВ по типу «конец в бок».

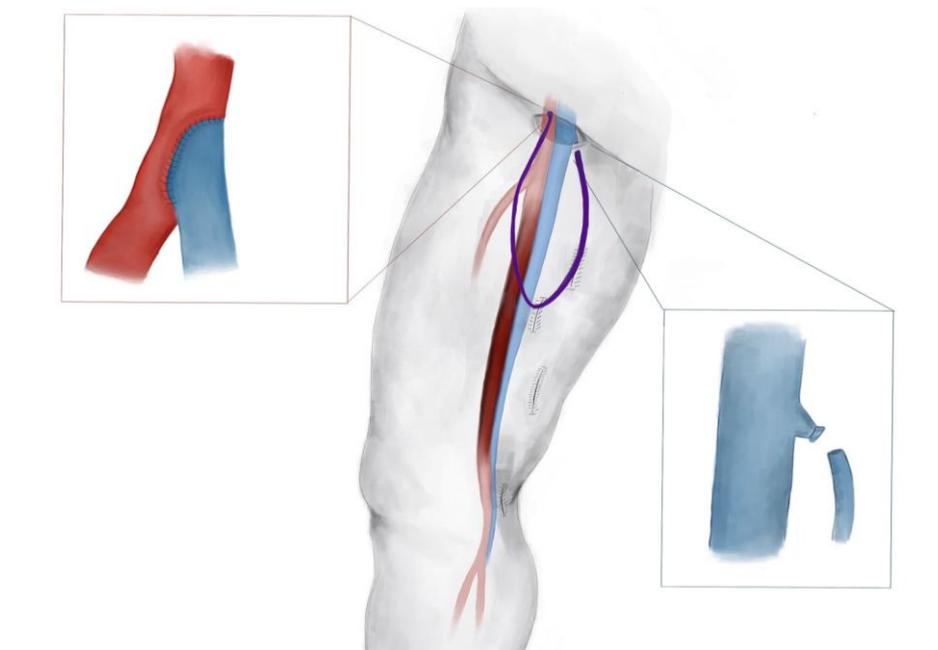


Рисунок 8 – Выполнение кроссэктомии артериовенозной фистулы на ноге

2.4. Методика создания программы стратификации риска послеоперационных осложнений БПШ

Вся выборка больных была поделена на два класса: 1. Наличие тромбоза шунта и/или ампутации конечности; 2. Отсутствие тромбоза шунта и/или

ампутации конечности. Для того, чтобы определить относится тот или иной пациент к одному из классов были применены методы: Гауссовский наивный байесовский классификатор и «случайный лес» (<https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/ansamblevye-metody-begging-busting-i-steking/>). Для каждого из них была рассчитана точность предсказания развития перечисленных осложнений. Затем был выбран тот метод, который обладает наибольшей предсказательной способностью. Следующим этапом с помощью языка программирования Python была создана компьютерная программа, позволяющая выбрать оптимальный тип шунта для БПШ и тем самым снизить риск тромбоза и ампутации конечности в послеоперационном периоде наблюдения.

2.5. 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/>).

Ввиду того, что они числовые, то нами трансформировались строковые категориальные признаки в качественные. Согласно первому классификатору, ниже приведен фрагмент кода для обучения модели по прогнозированию принадлежности пациента к классу «Тромбоз шунта» и вывода результатов работы обученной модели в виде матрицы ошибок (Confusion matrix), состоящей из 4-х квадрантов:

0–0 – при тестировании модель показала результат «0» там, где должен был быть «0» (истинно отрицательный результат);

0–1 – при тестировании модель показала результат «0» там, где должен был быть «1» (ложноотрицательный результат);

1–0 – при тестировании модель показала результат «1» там, где должен был

быть «0» (ложноположительный результат);

1–1 – при тестировании модель показала результат «1» там, где должен был быть «1» (истинно положительный результат).

Фрагмент кода для обучения модели: `#Training data train_data = td train_data = train_data.dropna() feature_train = train_data['xx'] label_train = train_data.drop(['xx','zz'], axis = 1) train_data.shape #891 x 28.`

Согласно анализу матрицы ошибок (Confusion matrix) точность предсказания достаточно низкая – 38%, модель дает большое количество ложноположительных значений, что представлено на Рисунке 9.

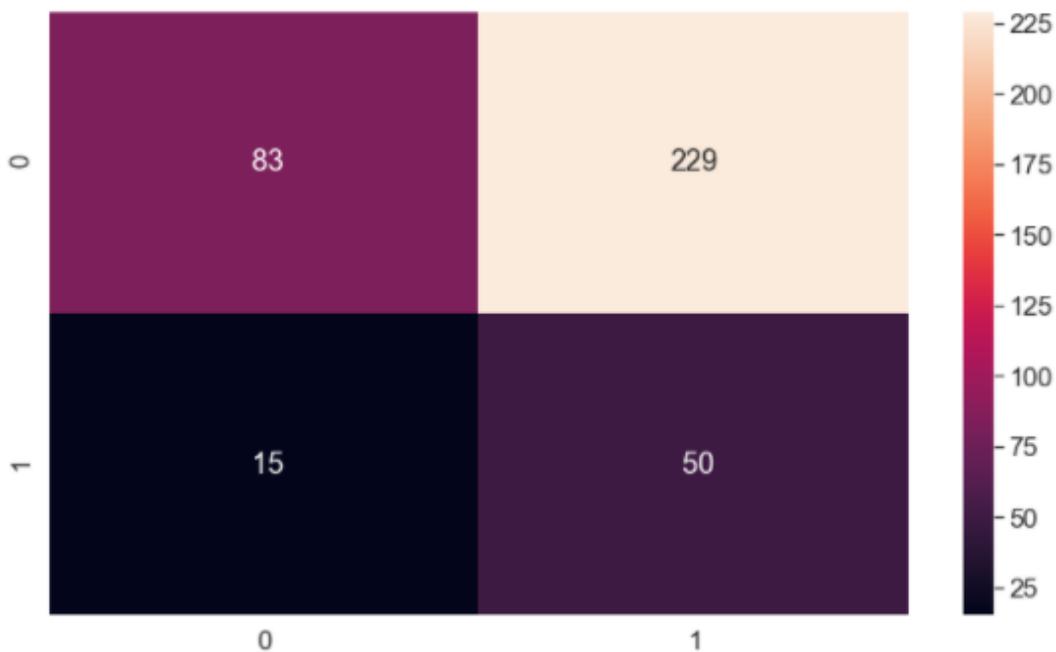


Рисунок 9 – Матрица ошибок (Confusion matrix) для первой модели

Далее проведены аналогичные вычисления с моделью «случайного леса». Ниже приведен фрагмент кода программы: `##Random forest clf = RandomForestClassifier(criterion='entropy', n_estimators=700, min_samples_split=10, min_samples_leaf=1, max_features='auto', oob_score=True, random_state=1, n_jobs=-1) x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(label_train, feature_train, test_size=0.2) clf.fit(x_train, np.ravel(y_train)) print("RF Accuracy: "+repr(round(clf.score(x_test, y_test) × 100, 2)) + "%").` Из результата анализа матрицы ошибок (Confusion matrix) следует, что данная модель дает гораздо более

точный результат – 88%. При этом ложноположительные результаты отсутствуют полностью, но все еще присутствует достаточно большое количество ложноотрицательных, что представлено на Рисунке 10.

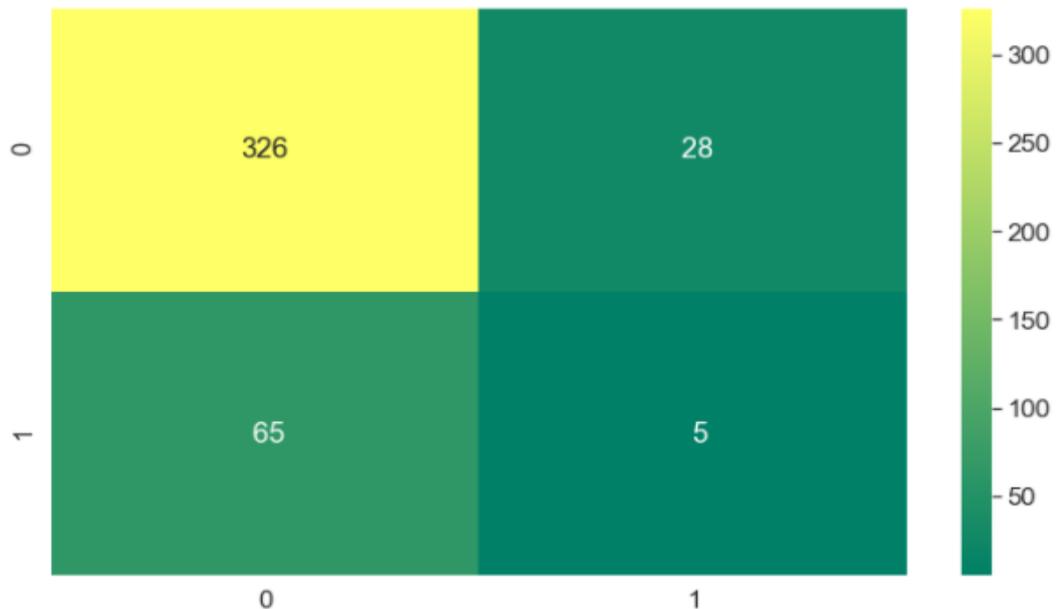


Рисунок 10 – Матрица ошибок (Confusion matrix) для второй модели

На основании вышеприведенных данных для дальнейших 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):
    if col == 'xx':
        td = td.drop('zz', axis=1)
    elif col == 'zz':
        td = td.drop('xx', axis=1)
    x = td[td[col] == 1]
    su = x.sum()
    mass = []
    header = list(td)
    for key in header:
        if su[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%, что представлено на Рисунке 11.

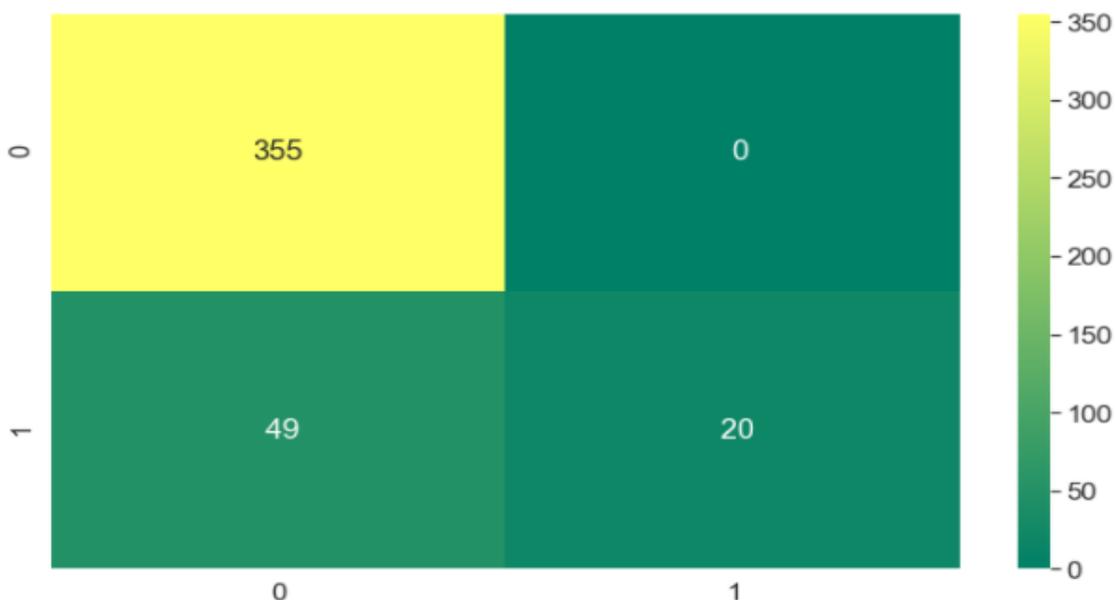


Рисунок 11 – Матрица ошибок (Confusion matrix) для третьей модели

Таким образом, данная модель использовалась для создания компьютерной программы (программа для ЭВМ № 2022612036 от 17.02.2022), 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. Интерфейс программы представлен на Рисунке 12.

Ввод данных пациента

Пол
 М Ж

Возраст
 до 44 лет
 45-59
 60-74
 старше 75

ХАН
 1
 2А
 2Б
 3
 4

Классификация Рутерфорда
 2Б
 между 2Б и бвп
 бвп
 неб. троф.
 язва и гангрена

Классификация WiFi
 WiFi_W
 2
 WiFi_i
 2
 WiFi_fi
 2

Виды операций
 БП реверсированный аутовенной выше щели к/с
 Да
 Нет
 БП реверсированный аутовенной ниже щели к/с
 Да
 Нет
 БП метод in situ выше щели к/с
 Да
 Нет
 БП метод in situ ниже щели к/с
 Да
 Нет
 БП с синтетическим протезом выше щели к/с
 Да
 Нет
 БП с синтетическим протезом ниже щели к/с
 Да
 Нет

Рисунок 12– Интерфейс программы для прогнозирования вероятности развития тромбоза БПШ и ампутации нижней конечности

2.6. Методы статистического анализа

Базы данных по исследуемым пациентам были сформированы в таблицах MS Office Excel (Microsoft, США). 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, Q_1-Q_3), 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).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Общая характеристика пациентов

В ретроспективное исследование включены данные пациентов, кому в период с 2016 по 2020 гг. в ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С. В. Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края, г. Краснодар, выполнялось БПШ. Среди включенных пациентов – 473 человека, кому выполнены традиционные для клиники вмешательства (методика с использованием реверсированной вены, методика *in situ*, методика *ex situ* (методика нереверсированной вены), методика с использованием поверхностных вен верхних конечностей, шунтирование с использованием синтетического протеза), а также 17 пациентов, кому выполнена открытая реваскуляризация по новой методике с предварительной артериализацией большой подкожной вены при малом ее диаметре (с предварительным формированием артериовенозной фистулы). Подробное описание дизайна исследования приведено ранее на Рисунке 1. Предварительно полученные госпитальные и отдаленные результаты лечения пациентов подробно отражены в опубликованных работах [9, 10].

После дополнительного применения критериев исключения (необходимость выполнения шунтирующей операции на контралатеральной конечности, необходимость выполнения реваскуляризации в прочих артериальных бассейнах помимо поражения артерий бедренно-подколенного сегмента), из исследования были исключены данные 41 пациента.

Последующий анализ ключевых характеристик пациентов, включенных в исследование, показал, что больные всех 6 групп были сопоставимы по таким показателям, как пол, возраст, тяжесть заболевания по классификации WiFi, выполнению шунтирующей операции выше либо ниже щели коленного сустава, наличию поражения брахиоцефальных артерий, стенокардии напряжения, а также сахарного диабета, в том числе на инсулине (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика пациентов, данные которых использованы для итогового анализа

Показатель	БПШ реверсир ованной аутове- ной (n=246)	БПШ <i>in situ</i> (n=54)	БПШ <i>ex situ</i> (не- реверс. БПВ) (n=62)	БПШ веной руки (n=61)	БПШ АВФ (n=17)	БПШ протезы (n=9)	<i>p</i>
Возраст, М±σ лет	63,46±8,3	62,81±6,69	64,03±8,33	63,18±6,9	64,35±11	63,67±3,2	0,577 ¹
Пол, n (%)							0,176 ²
-мужской	221 (89,8)	48 (88,9)	52 (83,9)	57 (93,4)	15 (88,2)	6 (66,7)	
-женский	25 (10,2)	6 (11,1)	10 (16,1)	4 (6,6)	2 (11,8)	3 (33,3)	
Стадия заболевания по Фонтейну, n (%)							0,002 ²
- 2А	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1,6)	0 (0)	0 (0)	
-2Б	128 (52)	31 (57,4)	25 (40,3)	46 (75,5)	10 (58,8)	4 (44,4)	
-3	53 (21,6)	10 (18,5)	20 (32,3)	6 (9,8)	7 (41,2)	1 (11,1)	
-4	65 (26,4)	13 (24,1)	17 (27,4)	8 (13,1)	0 (0)	4 (44,4)	
Категория ХИНК по Рутерфорду, n (%)							<0,001 ²
-2	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1,6)	0 (0)	0 (0)	
-3	73 (29,7)	26 (48,1)	17 (27,4)	42 (68,9)	7 (41,2)	3 (33,3)	
-4	59 (24)	5 (9,3)	13 (21)	5 (8,2)	8 (47,1)	2 (22,2)	
-5	49 (19,9)	10 (18,5)	15 (24,2)	5 (8,2)	2 (11,8)	0 (0)	
-6	61 (24,8)	12 (22,2)	17 (27,4)	8 (13,1)	0 (0)	4 (44,4)	
-6	4 (1,6)	1 (1,9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
WiFi							0,456 ²
-W (wound, рана/язва)	184 (74,8)	41 (75,9)	45 (74,2)	53 (86,9)	17 (100)	7 (77,8)	
-Нет	28 (11,4)	9 (16,7)	9 (14,5)	5 (8,2)	0 (0)	1 (11,1)	
-Маленькая поверхностн ая язва	31 (12,6)	3 (5,5)	8 (12,9)	3 (4,9)	0 (0)	1 (11,1)	
-Глубокая язва	3 (1,2)	1 (1,9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
-Обширная глубокая язва							
-I (ischemia, ишемия)							
ЛПИ	n=180	n=40	n=43	n=45	n=17	n=7	0,458 ²
-ЛПИ≥0,8	27 (15)	9 (22,5)	5 (11,6)	7 (15,6)	1 (5,9)	0 (0)	
-ЛПИ=0,6- 0,79	25 (13,9)	6 (15)	3 (7)	7 (15,6)	3 (17,6)	1 (14,3)	
-ЛПИ=0,4- 0,59	71 (39,4)	10 (25)	20 (46,5)	15 (33,3)	11 (64,7)	4 (57,1)	
-ЛПИ≤0,39	57 (31,7)	15 (37,5)	15 (34,9)	16 (35,6)	2 (11,8)	2 (28,6)	
-Fi (foot infection, инфекция стопы)							
-Нет							
инфекции	177 (72)	41 (75,9)	40 (64,5)	53 (86,9)	14 (82,4)	4 (44,4)	0,033 ²
-Легкая	43 (17,5)	9 (16,7)	20 (32,3)	4 (6,6)	3 (17,6)	3 (33,3)	
-Средняя	25 (10,1)	3 (5,6)	2 (3,2)	4 (6,6)	0 (0)	2 (22,2)	
-Тяжелая	1 (0,4)	1 (1,8)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	

Продолжение Таблицы 1

Оперативное вмеш. - во, п (%)							0,076 ²
-Выше щели	169 (68,7)	33 (61,1)	35 (56,5)	42 (68,9)	15 (88,2)	5 (55,6)	
-Ниже щели	77 (31,3)	21 (38,9)	27 (43,5)	19 (31,1)	2 (11,8)	4 (44,4)	
Сопутствующи е заболевания и состояния, п (%)							
Поражение КА							
-отсутствует	210 (85,3)	49 (90,7)	58 (93,5)	47 (77)	7 (41,2)	7 (77,8)	<0,001 ²
-		3 (5,6)	3 (4,8)	5 (8,2)	10 (58,8)	1 (11,1)	
гемодинамич ески незначимое	24 (9,8)	2 (3,7)	1 (1,6)	9 (14,8)	0 (0)	1 (11,1)	
-				46 (75,4)	14 (82,4)	5 (55,6)	
гемодинамич ески значимое	12 (4,9)			9 (14,8)	3 (17,6)	3 (33,3)	0,495 ²
					0 (0)	1 (11,1)	
Поражение БЦА							
- отсутствует	202 (82,1)	45 (83,3)	49 (79)				
гемодинамич ески незначимое	33 (13,4)	8 (14,8)	9 (14,5)	6 (9,8)			0,001 ²
гемодинамич ески значимое	11 (4,5)	1 (1,9)	4 (6,5)				0,489 ²
Поражение берцовых артерий							<0,00 ²
-отсутствует	77 (31,3)	19 (35,2)	20 (32,3)	18 (29,5)	4 (23,5)	2 (22,2)	<0,00 ²
-1 артерия	30 (12,2)	11 (20,4)	7 (11,3)	15 (24,6)	10 (58,8)	1 (11,1)	0,991 ²
-2 артерии	72 (29,3)	14 (25,9)	14 (22,6)	17 (27,9)	3 (17,6)	2 (22,2)	
-3 артерии	67 (27,2)	10 (18,5)	21 (33,9)	11 (18)	0 (0)	4 (44,4)	<0,001 ²
-Стенокардия напряжения	48 (19,5)	13 (24)	17 (27,4)	17 (27,9)	2 (11,8)	2 (22,2)	0,434 ²
-ХСН	233 (94,7)	50 (92,6)	60 (96,8)	59 (96,7)	10 (58,8)	9 (100)	<0,00 ²
-Инфаркт миокарда в анамнезе	26 (10,6)	5 (9,3)	8 (12,9)	9 (14,8)	10 (58,8)	0 (0)	
	23 (9,3)	4 (7,4)	5 (8,1)	5 (8,2)	2 (11,8)	1 (11,1)	
				46 (75,4)			
-ОНМК в анамнезе	203 (82,5)	44 (81,5)	48 (77,4)		2 (11,8)	7 (77,8)	0,336 ²
			2 (3,2)	4 (6,6)	0 (0)	0 (0)	
-ХОБЛ	9 (3,7)	0 (0)		1 (1,6)	16 (94,1)	0 (0)	0,512 ²
-ХБП	3 (1,2)	2 (3,7)	0 (0)				
-Ожирение		15 (27,8)	13 (21)	18 (29,5)	1 (5,9)	4 (44,4)	
-отсутствует	78 (31,7)						

Продолжение Таблицы 1

-1 ст.	118 (48)	24 (44,4)	35 (56,5)	25 (41)	0 (0)	2 (22,2)	
-2 ст.	36 (14,6)	10 (18,5)	12 (19,4)	15 (24,6)	0 (0)	2 (22,2)	
-3 ст.	11 (4,5)	3 (5,6)	2 (3,2)	2 (3,3)	0 (0)	1 (11,1)	
-4 ст.	82 (33,3)	22 (40,7)	26 (41,9)	15 (24,6)	6 (35,3)	2 (22,2)	
Сахарный диабет на инсулине	31 (12,6)	7 (13)	9 (14,5)	3 (4,9)	2 (11,8)	2 (22,2)	
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. ЛПИ – лодыжечно-плечевой индекс. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек, 1 – дисперсионный анализ, 2 – критерий χ^2							

Для итогового анализа и достижения поставленных в исследовании целей и задач, согласно дизайну исследования, пациенты были разделены на 2 когорты: пациенты с удовлетворительным размером большой подкожной вены в качестве потенциального кондуита для шунтирующей операции, и больные с неудовлетворительным размером большой подкожной вены в качестве потенциального кондуита для шунтирующей операции.

3.2. Характеристика и результаты лечения когорты пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера

Анализ ключевых характеристик пациентов с БПВ удовлетворительного размера показал, что больные были сопоставимы по таким показателям как пол, возраст, стадия заболевания по Фонтейну, категория хронической ишемии нижних конечностей по Рутерфорду, тяжесть заболевания по классификации WiFi, выполнению шунтирующей операции выше либо ниже щели коленного сустава, наличие поражения коронарных артерий, поражения брахиоцефальных артерий, поражения берцовых артерий, наличие стенокардии напряжения, хронической сердечной недостаточности, инфаркта миокарда в анамнезе, острого нарушения мозгового кровообращения в анамнезе, хронической обструктивной болезни легких, хронической болезни почек, ожирения различных степеней, а также сахарного диабета, в том числе на инсулине (Таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная характеристика пациентов с БПВ удовлетворительного размера, данные которых использованы для итогового анализа

Показатель	БПШ реверсированной аутоvenой (n=246)	БПШ метод <i>in situ</i> (n=54)	БПШ метод <i>ex situ</i> (нереверс. БПВ) (n=62)	<i>p</i>
Возраст, М±σ лет	63,46±8,3	62,81±6,69	64,03±8,33	0,374 ¹
Пол, n (%)				0,401 ²
-мужской	221 (89,8)	48 (88,9)	52 (83,9)	
-женский	25 (10,2)	6 (11,1)	10 (16,1)	
Стадия заболевания по Фонтейну, n (%)				0,256 ²
-2Б	128 (52)	31 (57,4)	25 (40,3)	
-3	53 (21,6)	10 (18,5)	20 (32,3)	
-4	65 (26,4)	13 (24,1)	17 (27,4)	
Категория ХИНК по Рутерфорду, n (%)				0,129 ²
-2	73 (29,7)	26 (48,1)	17 (27,4)	
-3	59 (24)	5 (9,3)	13 (21)	
-4	49 (19,9)	10 (18,5)	15 (24,2)	
-5	61 (24,8)	12 (22,2)	17 (27,4)	
-6	4 (1,6)	1 (1,9)	0 (0)	
WiFi				0,647 ²
-W (wound, рана/язва)				
-Нет	184 (74,8)	41 (75,9)	45 (74,2)	
-Маленькая поверхностная язва	28 (11,4)	9 (16,7)	9 (14,5)	
-Глубокая язва	31 (12,6)	3 (5,5)	8 (12,9)	
-Обширная глубокая язва	3 (1,2)	1 (1,9)	0 (0)	
-I (ischemia, ишемия)				
ЛПИ	n=180	n=40	n=43	0,403 ²
-ЛПИ≥0,8	27 (15)	9 (22,5)	5 (11,6)	
-ЛПИ=0,6-0,79	25 (13,9)	6 (15)	3 (7)	
-ЛПИ=0,4-0,59	71 (39,4)	10 (25)	20 (46,5)	
-ЛПИ≤0,39	57 (31,7)	15 (37,5)	15 (34,9)	
-Fi (foot infection, инфекция стопы)				0,061 ²
-Нет инфекции	177 (72)	41 (75,9)	40 (64,5)	
-Легкая	43 (17,5)	9 (16,7)	20 (32,3)	
-Средняя	25 (10,1)	3 (5,6)	2 (3,2)	
-Тяжелая	1 (0,4)	1 (1,8)	0 (0)	

Продолжение Таблицы 2

Оперативное вмешательство, n (%)				
-Выше щели	169 (68,7)	33 (61,1)	35 (56,5)	0,137 ²
-Ниже щели	77 (31,3)	21 (38,9)	27 (43,5)	
Сопутствующие заболевания и состояния, n (%)				
Поражение КА				
-отсутствует	210 (85,3)	49 (90,7)	58 (93,5)	0,434 ²
-гемодинамически незначимое	24 (9,8)	3 (5,6)	3 (4,8)	
-гемодинамически значимое	12 (4,9)	2 (3,7)	1 (1,6)	
Поражение БЦА				
- отсутствует	202 (82,1)	45 (83,3)	49 (79)	0,81 ²
-гемодинамически незначимое	33 (13,4)	8 (14,8)	9 (14,5)	
-гемодинамически значимое	11 (4,5)	1 (1,9)	4 (6,5)	
Поражение берцовых артерий				
-отсутствует	77 (31,3)	19 (35,2)	20 (32,3)	0,337 ²
-1 артерия	30 (12,2)	11 (20,4)	7 (11,3)	
-2 артерии	72 (29,3)	14 (25,9)	14 (22,6)	
-3 артерии	67 (27,2)	10 (18,5)	21 (33,9)	
Стенокардия напряжения	48 (19,5)	13 (24)	17 (27,4)	0,347 ²
ХСН	233 (94,7)	50 (92,6)	60 (96,8)	0,413 ²
Инфаркт миокарда в анамнезе	26 (10,6)	5 (9,3)	8 (12,9)	0,788 ²
ОНМК в анамнезе	23 (9,3)	4 (7,4)	5 (8,1)	0,85 ²
ХОБЛ	203 (82,5)	44 (81,5)	48 (77,4)	0,72 ²
ХБП	9 (3,7)	0 (0)	2 (3,2)	0,361 ²
Ожирение				
-отсутствует	3 (1,2)	2 (3,7)	0 (0)	0,512 ²
-1 ст.	78 (31,7)	15 (27,8)	13 (21)	
-2 ст.	118 (48)	24 (44,4)	35 (56,5)	
-3 ст.	36 (14,6)	10 (18,5)	12 (19,4)	
-4 ст.	11 (4,5)	3 (5,6)	2 (3,2)	
-Сахарный диабет	82 (33,3)	22 (40,7)	26 (41,9)	0,325 ²
-на инсулине	31 (12,6)	7 (13)	9 (14,5)	0,913 ²
Время операции, Ме (Q ₁ -Q ₃) минут	180 (145-205)	160 (140-190)	152,5 (120-195)	0,086 ³
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. ЛПИ – лодыжечно-плечевой индекс. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек, 1 – дисперсионный анализ, 2 – критерий χ^2 , 3 – критерий Краскелла-Уоллеса				

3.3. Исходы среди пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера

В Таблице 3 представлены исходы заболевания, полученные в результате оценки послеоперационного периода, где отражены показатели летального исхода (смерти), тромбоза шунта, ампутации, кровотечения, нагноения послеоперационной раны, сохранения ишемии конечности, развития инфаркта миокарда, а также необходимость выполнения повторной операции в объеме тромбэктомии из аутовенозного шунта, хирургической обработки послеоперационной раны/санации гематомы либо реконструкции дистального анастомоза.

Таблица 3 – Исходы среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера

Исход	Показатель
Смерть (общее), n (%)	16 (4,4)
Смерть (госпитальный период), n (%)	0 (0)
Смерть (отдаленный период), n (%)	16 (4,4)
Тромбоз аутовенозного шунта (общее), n (%)	72 (19,7)
Тромбоз аутовенозного шунта (госпитальный период), n (%)	18 (4,9)
Тромбоз аутовенозного шунта (отдаленный период), n (%)	59 (16,2)
Ампутация (общее), n (%)	27 (7,4)
Ампутация (госпитальный период), n (%)	7 (1,9)
Ампутация (отдаленный период), n (%)	20 (5,5)
Кровотечение, n (%)	5 (1,4)
Нагноение послеоперационной раны, n (%)	7 (1,9)
Сохранение ишемии, n (%)	1 (0,3)
Инфаркт миокарда, n (%)	1 (0,3)
Повторная операция	Показатель
Тромбэктомия из аутовенозного шунта, n (%)	17 (4,7)
Хирургическая обработка раны/санация гематомы, n (%)	17 (4,7)
Пластика, реконструкция дистального анастомоза, n (%)	1 (0,3)

В Таблице 4 представлены вышеупомянутые исходы шунтирующей операции в зависимости от вида выполненной артериальной реконструкции – БПШ реверсированной аутовеной, аутовеной (БПВ), подготовленной по методике *in situ* либо аутовеной, подготовленной по методике *ex situ* (методика неревверсированной аутовены и ее ортотопическим расположением).

Таблица 4 – Исходы среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера в зависимости от вида выполненной артериальной реконструкции

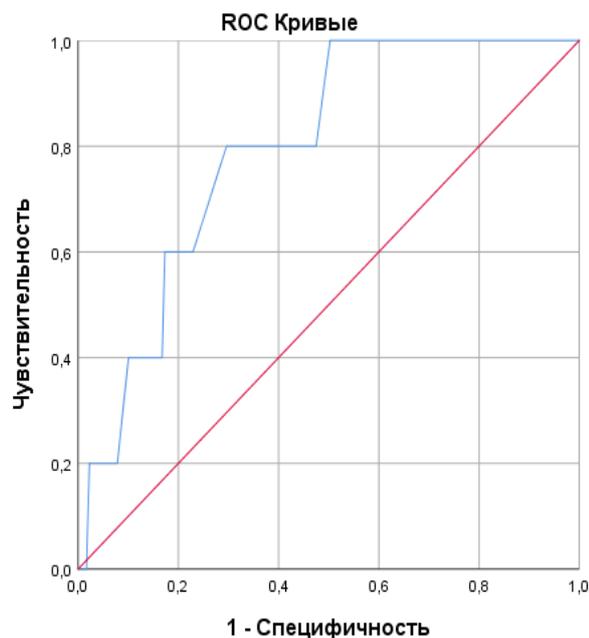
Исход	БПШ реверсированной аутовеной (n=246)	БПШ метод <i>in situ</i> (n=54)	БПШ метод <i>ex situ</i> (нереверс. БПВ) (n=62)	<i>p</i>
Исход	БПШ реверсированной аутовеной (n=246)	БПШ метод <i>in situ</i> (n=54)	БПШ метод <i>ex situ</i> (нереверс. БПВ) (n=62)	<i>p</i>
Смерть (общее), n (%)	12 (4,8)	1 (1,9)	3 (4,8)	0,601 ¹
Смерть (госпитальный период), n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	-
Смерть (отдаленный период), n (%)	12 (4,8)	1 (1,9)	3 (4,8)	0,601 ¹
Тромбоз аутовенозного шунта (общее), n (%)	45 (18,3)	13 (24,1)	14 (22,6)	0,538 ¹
Тромбоз аутовенозного шунта (госпитальный период), n (%)	11 (4,5)	5 (9,3)	2 (3,2)	0,28 ¹
Тромбоз аутовенозного шунта (отдаленный период), n (%)	36 (14,6)	10 (18,5)	13 (21)	0,424 ¹
Ампутация (общее), n (%)	15 (6,1)	4 (7,4)	8 (12,9)	0,182 ¹
Ампутация (госпитальный период), n (%)	5 (2)	1 (1,9)	1 (1,6)	0,977 ¹
Ампутация (отдаленный период), n (%)	10 (4,1)	3 (5,6)	7 (11,3)	0,08 ¹
Кровотечение, n (%)	4 (1,6)	0 (0)	1 (1,6)	0,638 ¹
Нагноение послеоперационной раны, n (%)	4 (1,6)	2 (3,7)	1 (1,6)	0,601 ¹
Сохранение ишемии, n (%)	1 (0,4)	0 (0)	0 (0)	0,789 ¹
Инфаркт миокарда, n (%)	1 (0,4)	0 (0)	0 (0)	0,789 ¹
Повторная операция	БПШ реверсированной аутовеной (n=246)	БПШ метод <i>in situ</i> (n=54)	БПШ метод <i>ex situ</i> (нереверс. БПВ) (n=62)	<i>p</i>
Тромбэктомия из аутовенозного шунта, n (%)	9 (3,7)	5 (9,3)	3 (4,8)	0,22 ¹
Хирургическая обработка раны/санация гематомы, n (%)	12 (4,9)	3 (5,6)	2 (3,2)	0,826 ¹
Пластика, реконструкция дистального анастомоза, n (%)	1 (0,4)	0 (0)	0 (0)	0,789 ¹
Примечание: ¹ – критерий χ^2				

3.4. 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 (Ме (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* (методика нереверсированной аутовены с ортотопическим ее расположением) ($p=0,086$).

Площадь под ROC-кривой составила $0,794 \pm 0,076$ с 95% ДИ: 0,644-0,943. Значимость модели – 0,025 (Рисунок 13).



Диагональные сегменты, сгенерированные связями.

Рисунок 13 – ROC-кривая при создании модели прогнозирования смерти в течение периода послеоперационного наблюдения на основании времени операции

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. Таким образом, ROC-анализ среди пациентов с БПВ удовлетворительного диаметра, кому проводились артериальные реконструкции по методике реверсированной аутовены, методикам *in situ* и *ex situ* показал, что при продолжительности времени

выполнения артериальной реконструкции свыше 197,5 минут, с чувствительностью 80% и специфичностью 70,4% прогнозируется развитие летального исхода в периоде послеоперационного наблюдения.

В исследовании J.F. Radtka и соавт. (2024) проводилась оценка возможной связи между временем выполнения артериальной реконструкции, длительностью пребывания больных в стационаре и необходимостью повторных, незапланированных оперативных вмешательств у пациентов, кому выполняется БПШ ниже уровня щели коленного сустава аутоvenой (n=3570) или синтетическим протезом из политетрафторэтилена (ПТФЭ) (n=7332). Исследование, охватывающее период с 2003 по 2021 годы и включающее 10 902 пациента, продемонстрировало, что увеличение продолжительности оперативного вмешательства ассоциировано с удлинением среднего срока госпитализации и повышением частоты повторного хирургического вмешательства как у пациентов с бедренно-подколенными шунтами из аутоvenы, так и у тех, кому были установлены синтетические протезы. Пациенты, которым имплантировали протезы из ПТФЭ, при длительном проведении реконструкции имели значительно большую частоту крупных ампутаций, инфекционных осложнений, неблагоприятных сердечно-сосудистых эпизодов и низкую первичную проходимость шунтов в течение первого года наблюдений [103].

На данном этапе исследования оценить 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.

3.5. Логистическая регрессия в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера

Анализ данных с использованием логистической регрессии в когорте пациентов с БПВ удовлетворительного размера проведен в отношении ключевых исходов заболевания и лечения: летальный исход (смерть), тромбоз, ампутация.

3.5.1. Анализ развития летальных исходов в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера

Анализ логистической регрессии среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера по параметру развития летального исхода в периоде послеоперационного наблюдения показал следующие результаты (Таблица 5):

1. Вероятность 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), $p=0,046$;
2. Наличие 6 категории ХИНК по Рутерфорду значительно повышало вероятность развития летального исхода в послеоперационном периоде согласно результатам однофакторного регрессионного анализа – ОШ 16,476 (95% ДИ 2,546–106,611), $p=0,003$, и согласно результатам многофакторного регрессионного анализа – ОШ 20,261 (95% ДИ 3,05–134,514), $p=0,002$;
3. Наличие у пациентов инфекции стопы (f_i согласно классификации WiFi) характеризуется повышением вероятности 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 вероятности развития летального исхода в периоде послеоперационного наблюдения: ОШ 2,2 (95% ДИ 1,013–4,624), $p=0,046$.

Таблица 5 – Результаты проведенного регрессионного анализа в отношении летального исхода у пациентов с БПВ удовлетворительного размера

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	<i>p</i>	ОШ (95% ДИ)	<i>p</i>
Возраст	1,044 (0,978–1,114)	0,198	–	–
Пол				
-мужской	0,529 (0,144–1,942)	0,338	–	–
-женский	1,889 (0,515–6,929)			
Стадия заболевания по Фонтейну				
-2Б	0,309 (0,098–0,978)	0,046	0,364 (0,111–1,192)	0,095
-3	1,579 (0,533–4,682)	0,41	–	–
-4	2,272 (0,822–6,28)	0,114	–	–
Категория ХИНК по Рутерфорду				
-1	–	–	–	–
-2	0,687 (0,217–2,178)	0,524	–	–
-3	0,239 (0,031–1,842)	0,17	–	–
-4	1,353 (0,423–4,323)	0,61	–	–
-5	1,39 (0,47–4,113)	0,552	–	–
-6	16,476 (2,546–106,611)	0,003	0,261 (3,05–134,514)	0,002
Wifi				
-W (wound, рана/язва)	1,584 (0,909–2,762)	0,105	–	–
-I (ischemia, ишемия)	0,919 (0,506–1,668)	0,78	–	–
-Fi (foot infection, инфекция стопы)	1,63 (1,001–2,655)	0,049 5	1,339 (0,751–2,39)	0,323
Оперативное вмешательство (1)				
-Вмешательства выше щели к/с	2,388 (0,668–8,541)	0,181	–	–
-Вмешательства ниже щели к/с	0,419 (0,117–1,498)			
Оперативное вмешательство (2)				
-БПШ реверсированной аутовеной	1,436 (0,453–4,553)	0,538	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i>	0,603 (0,217–1,678)	0,333	–	–
-БПШ <i>ex situ</i> (нерев. БПВ)	1,043 (0,679–1,601)	0,848	–	–
Оперативное вмешательство (3)				
-БПШ реверсированной аутовеной выше щели к/с	1,969 (0,7–5,536)	0,199	–	–
-БПШ реверсированной аутовеной ниже щели к/с	0,716 (0,338–1,519)	0,384	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i> выше щели к/с	0,871 (0,439–1,728)	0,693	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i> ниже щели к/с	–	–	–	–
-БПШ <i>ex situ</i> выше щели к/с	1,065 (0,785–1,444)	0,687	–	–
-БПШ <i>ex situ</i> ниже щели к/с	0,969 (0,687–1,367)	0,858	–	–

Продолжение Таблицы 5

Сопутствующие заболевания и состояния				
-Поражение КА	1,955 (0,924–4,136)	0,08		
-Поражение БЦА	1,348 (0,579–3,138)	0,489	2,164 (1,013-4,624)	0,046
-Поражение Берца	1,157 (0,756–1,772)	0,501	–	–
-Стенокардия напряжения	0,843 (0,234–3,036)	0,794	–	–
-ХСН	–	–	–	–
-Инфаркт миокарда в анамнезе	2,99 (0,915–9,774)	0,07	–	–
-ОНМК в анамнезе	0,684 (0,087–5,353)	0,717	–	–
-ХОБЛ	1,03 (0,285–3,715)	0,965	–	–
-ХБП	–	–	–	–
-Ожирение	0,834 (0,444–1,566)	0,573	–	–
-Сахарный диабет	1,429 (0,52–3,931)	0,489	–	–
-на инсулине	0,439 (0,057–3,404)	0,431	–	–
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. Берца – берцовые артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек				

Многие исследователи подчеркивают, что аутологичные материалы, в первую очередь большая подкожная вена хорошего качества, являются оптимальным выбором для артериальной реконструктивной хирургии. Согласно мнению А. Lin и E.G. King (2024), несмотря на разнообразие используемых кондуитов при операциях на сосудах нижних конечностей, включая синтетические протезы и криоконсервированные венозные трансплантаты, забор большого сегмента большой подкожной вены продолжает оставаться золотым стандартом в практике шунтирования [85].

В исследовании Bypass vs Angioplasty in Severe Ischaemia of the Leg (BASIL)-2 приняли участие пациенты с ХИУПК, кому требовалась инфраингвинальная реконструкция. Участники, рандомизированные в группу реваскуляризации с использованием венозного шунтирования, имели на треть большую вероятность умереть от любой причины в течение медианного периода наблюдения 40,0 (20,9–60,6) месяцев, чем те, кто был рандомизирован в группу реваскуляризации с использованием эндоваскулярного лечения. Целью данной работы, представленной коллективом авторов A.W. Bradbury и соавт. (2025) было

описать сроки и причины смерти в BASIL-2 в качестве первого шага к попытке лучше понять, почему выполнение реваскуляризации с БПШ было связано с более высокой смертностью. Избыточная смертность, наблюдаемая в группе аутовенозных открытых реваскуляризации в исследовании BASIL-2 была в значительной степени обусловлена смертями, связанными с кардиальной патологией. Продолжается дальнейшая работа над результатами исследования (BASIL)-2, чтобы попытаться лучше понять причины подобных результатов [63].

В исследовании нами выявлено, в какой степени тяжесть ишемии и сопутствующая патология влияли на риски развития летального исхода. Логистическая регрессия показала следующее. Риски развития летального исхода у пациентов, кому выполнялись шунтирующие операции аутовеной (реверсированная БПВ, *in situ*, *ex situ*) были ниже у пациентов с умеренной степенью тяжести ХИНК (при 2б стадии заболевания по Фонтейну ОШ 0,309 (95% ДИ 0,098–0,978), $p=0,04$), значительно повышены при тяжелой ее степени (6 категория по Рутерфорду – ОШ 20,261 (95% ДИ 3,05–134,514), $p=0,002$), выше при наличии инфекции стопы (ОШ 1,63 (95% ДИ 1,001–2,655), $p=0,045$), а также при наличии сопутствующего поражения коронарных артерий (ОШ 2,2 (95% ДИ 1,013–4,624), $p=0,046$).

3.5.2. Анализ развития тромбоза аутовенозного шунта в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера

Анализ логистической регрессии среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера по параметру развития тромбоза аутовенозного шунта в периоде послеоперационного наблюдения показал следующие результаты (Таблица 6):

1. Вероятность 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), $p<0,001$ согласно результатам однофакторного

анализа и более, чем в 2,7 раз ниже согласно результатам многофакторного анализа – ОШ 0,372 (95% ДИ 0,209–0,663), $p=0,001$;

2. Вероятность развития тромбоза в послеоперационном периоде в 2,5 раз были ниже среди пациентов со 2 категорией ХИНК по Рутерфорду – ОШ 0,395 (95% ДИ 0,207–0,753), $p=0,005$ и более чем в 2 раза выше среди больных с 4 категорией ХИНК по Рутерфорду – ОШ 2,49 (1,397–4,439), $p=0,002$;

3. Вероятность развития тромбоза БПШ был в 2,5 раза ниже при выполнении шунтирующей операции выше уровня щели коленного сустава ОШ 0,363 (95% ДИ 0,215–0,615), $p<0,001$ согласно результатам однофакторного анализа и в 2,4 раза ниже - согласно результатам многофакторного анализа – ОШ 0,42 (95% ДИ 0,242–0,726), $p=0,002$;

4. Среди БПШ выше уровня щели коленного сустава вероятность развития тромбоза аутовенозного шунта был в 2 раза ниже при выполнении шунтирования с использованием реверсированной аутовены ОШ 0,503 (95% ДИ 0,293–0,865), $p=0,013$;

5. Среди БПШ ниже уровня щели коленного сустава вероятность развития тромбоза аутовенозного шунта был повышен среди пациентов, кому выполнялось шунтирование по методике *in situ* ОШ 1,256 (95% ДИ 1,001–1,577), $p=0,049$, по методике *ex situ* – ОШ 1,174 (95% ДИ 1,023–1,348), $p=0,023$.

Таблица 6 – Результаты проведенного регрессионного анализа в отношении развития тромбоза аутовенозного шунта у пациентов с БПВ удовлетворительного размера

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	p	ОШ (95% ДИ)	p
Возраст	0,991 (0,96–1,023)	0,589	–	–
Пол				
-мужской	1,22 (0,517–2,874)	0,651	–	–
-женский	0,82 (0,348–1,934)			
Стадия заболевания по Фонтейну				
-2Б	0,324 (0,185–0,566)	<0,001	0,372 (0,209–0,663)	0,001
-3	2,34 (1,335–4,102)	0,003	1,218 (0,619–2,397)	0,567
-4	1,663 (0,956–2,894)	0,072	0,861 (0,437–1,694)	0,664

Категория ХИНК по Рутерфорду, n				
-1	– 0,395 (0,207–0,753)	– 0,005	– 0,801 (0,319–2,012)	– 0,637
-2	0,544 (0,264–1,119)	0,098	0,894 (0,398–2,007)	0,786
-3	2,49 (1,397–4,439)	0,002	1,491 (0,756–2,942)	0,249
-4	1,687 (0,963–2,955)	0,068	0,91 (0,462–1,792)	0,785
-5	1,018 (0,112–9,245)	0,988	0,584 (0,061–5,558)	0,64
Wifi				
-W (wound, рана/язва)	1,197 (0,858–1,67)	0,289	–	–
-I (ischemia, ишемия)	1,228 (0,9–1,677)	0,196	–	–
-Fi (foot infection, инфекция стопы)	1,344 (0,971–1,859)	0,075	0,957 (0,629–1,454)	0,836
Оперативное вмешательство				
-Вмешательства выше щели к/с	0,363 (0,215–0,615)	<0,001	0,42 (0,242–0,726)	0,002
-Вмешательства ниже щели к/с	2,753 (1,626–4,661)		2,383 (1,377–4,125)	
Оперативное вмешательство				
-БПШ реверсированной аутовеной	0,739 (0,432–1,265)	0,27	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i>	1,148 (0,815–1,615)	0,43	–	–
-БПШ <i>ex situ</i> (нереверс. БПВ)	1,072 (0,86–1,336)	0,536	–	–
Оперативное вмешательство				
-БПШ реверсированной аутовеной выше щели к/с	0,503 (0,293–0,865)	0,013	1,103 (0,475–2,56)	0,82
-БПШ реверсированной аутовеной ниже щели к/с	1,306 (0,975–1,749)	0,074	0,801 (0,539–1,188)	0,27
-БПШ метод <i>in situ</i> выше щели к/с	0,891 (0,641–1,238)	0,491	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i> ниже щели к/с	1,256 (1,001–1,577)	0,049	1,091 (0,85–1,4)	0,496
-БПШ <i>ex situ</i> выше щели к/с	0,87 (0,701–1,078)	0,203	-	-
-БПШ <i>ex situ</i> ниже щели к/с	1,174 (1,023–1,348)	0,023	1,055 (0,905–1,229)	0,496
Сопутствующие заболевания				
-Поражение КА	0,471 (0,208–1,067)	0,071	0,441 (0,19–1,026)	0,058
-Поражение БЦА	1,068 (0,651–1,752)	0,795	–	–
-Поражение Берца	1,183 (0,95–1,472)	0,133	–	–
-Стенокардия напряжения	1,422 (0,783–2,582)	0,248	–	–
-ХСН	0,825 (0,294–2,317)	0,716	–	–
-Инфаркт миокарда в анамнезе	1,252 (0,566–2,771)	0,579	–	–
-ОНМК в анамнезе	0,735 (0,273–1,981)	0,543	–	–
-ХОБЛ	1,597 (0,773–3,299)	0,206	–	–
-ХБП	0,399 (0,05–3,165)	0,384	–	–
-Ожирение	1,088 (0,797–1,484)	0,595	–	–
-Сахарный диабет	1,107 (0,649–1,888)	0,71	–	–
-на инсулине	0,959 (0,441–2,085)	0,915	–	–

Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. Берца – берцовые артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

Ряд исследователей показали, что методики реверсированной и неревсированной БПВ имеют сопоставимые результаты в отношении проходимости шунтов [64]. Однако наше исследование, где сравнение проводилось одномоментно с методикой *in situ*, показало преимущество использования методики реверсированной БПВ по сравнению с методиками *in situ* и *ex situ* (неревсированной БПВ). Тем не менее, упомянутое выше исследование оценивало ранние результаты БПВ, в то время как мы оценивали и отдаленные.

3.5.3. Анализ необходимости выполнения ампутации в когорте пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной удовлетворительного размера по параметру необходимости выполнения ампутации в периоде послеоперационного наблюдения показал следующие результаты (Таблица 7):

1. Вероятность ампутации более, чем в 9 раз ниже у пациентов с 2б стадией заболевания по Фонтейну – ОШ 0,107 (95% ДИ 0,032–0,363), $p < 0,001$ согласно результатам однофакторного анализа и более, чем в 7 раз согласно результатам многофакторного анализа – ОШ 0,139 (95% ДИ 0,04–0,481), $p = 0,002$. Наличие 4 стадии заболевания по Фонтейну значительно увеличивает вероятность ампутации – ОШ 4,691 (95% ДИ 2,092–10,519), $p < 0,001$;

2. Наличие тяжелой ХИНК согласно категориям Рутерфорду так же ассоциировано с повышением вероятности ампутации в послеоперационном периоде. У пациентов категории 2 вероятность ампутации более, чем в 4 раза ниже – ОШ 0,242 (95% ДИ 0,071–0,822), $p = 0,023$, категории 3 – ниже более, чем в 7 раз – ОШ 0,133 (95% ДИ 0,018–0,993), $p = 0,049$. У пациентов с категорией 5 по Рутерфорду вероятность ампутации повышен более, чем в 3 раза – ОШ 3,65 (95% ДИ 1,646–8,096), $p = 0,001$, с категорией 6 по Рутерфорду – почти в 9 раз, ОШ 8,933 (95% ДИ 1,426–55,955), $p = 0,019$.

3. Согласно классификации WiFi, наличия раны (язвы) повышает вероятность ампутации – ОШ 2,004 (95% ДИ 1,313–3,059), $p=0,001$, равно как и наличие инфекции стопы – ОШ 1,91 (95% ДИ 1,27–2,872), $p=0,002$;

4. Выполнение шунтирующей операции выше щели коленного сустава характеризуется практически 3-кратно более низкой вероятностью ампутации в послеоперационном периоде – ОШ 0,336 (95% ДИ 0,151–0,749), $p=0,008$;

5. Шунтирование ниже щели коленного сустава по методике *in situ* характеризуется повышением вероятности ампутации в послеоперационном периоде – ОШ 1,413 (95% ДИ 1,021–1,957), $p=0,037$ согласно результату многофакторного анализа; шунтирование ниже щели коленного сустава по методике *ex situ* (методика нереверсированной БПВ) так же характеризуется повышением вероятности ампутации в послеоперационном периоде – ОШ 1,331 (95% ДИ 1,132–1,565), $p=0,001$ согласно результатам однофакторного анализа, ОШ 1,375 (95% ДИ 1,147–1,65), $p=0,001$ согласно результатам многофакторного анализа;

6. Наличие сахарного диабета в целом повышает вероятность ампутации в послеоперационном периоде – ОШ 2,424 (95% ДИ 1,098–5,35), $p=0,028$, при этом наличие сахарного диабета на инсулине еще больше увеличивает вероятность ампутации – ОШ 2,607 (95% ДИ 1,037–6,555), $p=0,042$ согласно результатам однофакторного анализа, – ОШ 3,192 (95% ДИ 1,142–8,921), $p=0,027$.

Таблица 7 – Результаты регрессионного анализа в отношении необходимости выполнения ампутации у пациентов с БПВ удовлетворительного размера

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	p	ОШ (95% ДИ)	p
Возраст	0,98 (0,935-1,03)	0,406	–	–
Пол				
-мужской	0,707 (0,232–2,155)	0,542	–	–
-женский	1,415 (0,464–4,316)			
Стадия заболевания по Фонтейну				
-2Б	0,107 (0,032–0,363)	<0,001	0,139 (0,04–0,481)	0,002
-3	1,476 (0,622–3,507)	0,377	–	–
-4	4,691 (2,092–10,519)	<0,001	2,127 (0,752–6,013)	0,155

Категория ХИНК по Рутерфорду, -1	–	–	–	–
-2	0,242 (0,071–0,822)	0,023	2,376 (0,213–26,544)	0,482
-3	0,133 (0,018–0,993)	0,049	0,263 (0,03–2,298)	0,227
-4	1,442 (0,585–3,554)	0,426	–	–
-5	3,65 (1,646–8,096)	0,001	2,127 (0,752–6,013)	0,155
-6	8,933 (1,426–55,955)	0,019	6,999 (0,989–49,543)	0,051
Wifi				
-W (wound, рана/язва)	2,004 (1,313–3,059)	0,001	1,169 (0,66–2,071)	0,593
-I (ischemia, ишемия)	1,822 (0,972–3,417)	0,061	1,376 (0,719–2,632)	0,335
-Fi (foot infection, инфекция стопы)	1,91 (1,27–2,872)	0,002	1,282 (0,744–2,208)	0,37
Оперативное вмешательство (1)				
-Вмешательства выше щели к/с	0,336 (0,151–0,749)	0,008	0,902 (0,29–2,804)	0,858
-Вмешательства ниже щели к/с	2,975 (1,336–6,624)		1,109 (0,357–3,45)	
Оперативное вмешательство (2)				
-БПШ реверсированной аутовеной	0,563 (0,255–1,245)	0,156	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i>	0,989 (0,57–1,717)	0,969	–	–
-БПШ <i>ex situ</i> (нереверс. БПВ)	1,303 (0,973–1,745)	0,075	0,78 (0,389–1,566)	0,485
Оперативное вмешательство (3)				
-БПШ реверсированной аутовеной выше щели к/с	0,654 (0,291–1,471)	0,305	–	–
-БПШ реверсированной аутовеной ниже щели к/с	0,908 (0,55–1,501)	0,708	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i> выше щели к/с	–	0,998	–	–
-БПШ метод <i>in situ</i> ниже щели к/с	1,326 (0,991–1,774)	0,057	1,413 (1,021–1,957)	0,037
-БПШ <i>ex situ</i> выше щели к/с	0,808 (0,538–1,212)	0,302	–	–
-БПШ <i>ex situ</i> ниже щели к/с	1,331 (1,132–1,565)	0,001	1,375 (1,147–1,65)	0,001
Сопутствующие заболевания и состояния	–	–	–	–
-Поражение КА	1,342 (0,679–2,652)	0,398	–	–
-Поражение БЦА	1,249 (0,891–1,752)	0,198	–	–
-Поражение БерцаА	1,316 (0,535–3,236)	0,549	–	–
-Стенокардия напряжения	1,722 (0,223–13,32)	0,602	–	–
-ХСН	0,304 (0,04–2,302)	0,249	–	–
-Инфаркт миокарда в анамнезе	–	–	–	–
-ОНМК в анамнезе	1,332 (0,378–4,691)	0,656	–	–
-ХОБЛ	1,048 (0,382–2,871)	0,928	–	–
-ХБП	–	–	–	–
-Ожирение	1,328 (0,839–2,101)	0,226	–	–
-Сахарный диабет	2,424 (1,098–5,35)	0,028	1,573 (0,566–4,371)	0,385
---на инсулине	2,607 (1,037–6,555)	0,042	3,192 (1,142–8,921)	0,027
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. БерцаА – берцовые артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения				

Н.В. Крепкогорский и соавт. (2024) солидарны с общепринятым мнением, что использование аутологичного венозного кондуита для артериальных реконструкций занимает лидирующую позицию, как в сосудистой хирургии, так и кардиохирургии. Однако существующее множество способов забора, сохранения и манипуляций с аутовеной представляет собой обширный вопрос для обсуждения и изучения. Авторы приходят к выводу, что требуется пристальное внимание к механическим, температурным, и прочим факторам, участвующим в формировании итоговых свойств аутологичной вены, что в итоге может играть ключевую роль в динамике проходимости артериальных шунтов [28].

Выбор методики вмешательства, согласно результатам текущего исследования, оказал влияние на риски развития тромбоза шунта и ампутации в послеоперационном периоде. В исследование, проведенное под руководством R. Греесе (2024) было включено 143 пациента, которым выполнены 147 БПШ с разделением пациентов в группы в зависимости от путей оттока: 1 путь оттока на голени отмечался при проведении 24 операций и 2 и более пути оттока на голени – при 123 БПШ. Оценивались проходимость шунтов и сохранность конечности в течение 3х лет после операции. Полученные результаты показали, что сохранность конечности была выше у пациентов в группе с двумя и более путями оттока на голени по сравнению с 1 путем оттока (86 против 71%, $p=0,03$) в срок 12 месяцев и 2мя путями оттока (85 против 71%, $p=0.04$) в срок 36 месяцев. При этом среди пациентов с окклюзией шунтов повторные шунтирования чаще выполнялись пациентам с двумя и более путями оттоков при включении в исследование [102].

Б.В. Кашаев (2019) выделил предикторы развития окклюзии бедренно-подколенных шунтов у 136 пациентов. По данным автора, большая степень ишемии, окклюзия ПБА и наличие сахарного диабета снижали первичную проходимость в 0,44, 0,97 и 0,04 раза соответственно. Автор также указал, что длительность функционирования шунта зависит, в том числе от комплаентности пациента. Соблюдение рекомендаций и назначенной медикаментозной терапии снижали вероятность дисфункции шунта в отдаленном послеоперационном

периоде [22]. По данным литературы, через 24 месяцев после реваскуляризации конечности первичная проходимость бедренно-подколенного шунта составляет до 55,4%, что соответствует международным авторам, а частота реокклюзий через 2–3 года может достигать 50–60% [41]. При этом, если речь идет о реверсированной БПВ, то важную роль играет ее диаметр. Поскольку конгруэнтность ширины просвета аутовены может не соответствовать диаметру подколенной артерии, то возрастает периферическое сопротивление с последующим риском тромбоза. В нашем исследовании методика с использованием реверсированной аутовены продемонстрировала наилучшие результаты при БПШ выше уровня щели коленного сустава.

Подавляющее большинство исследований сходится во мнении, что имплантация данного шунта реже всего сопровождается тромбозом либо рестенозом. В наиболее крупном метаанализе, включающем 8 рандомизированных исследований, М. Sharrock и соавт. (2019) сравнили результаты 608 БПШ реверсированной аутовеной и 663 – синтетическим протезом. У первой двухлетняя проходимость оказалась более высокой [108]. Но, несмотря на это, тромбозы реверсированной вены в раннем и средне-отдаленном периодах после БПШ также наблюдаются. Во многом это обусловлено тем, что при ее имплантации нарушается конгруэнтность, то есть диаметр дистального конца БПВ может быть крупнее подколенной артерии, а диаметр проксимального конца – меньше общей бедренной артерии. Таким образом, нарушается физиология потока крови по кондуиту, что приводит к формированию турбулентного течения, пристеночного тромбоза и рестеноза. В свою очередь при выполнении БПШ по технике *ex situ* БПВ во время имплантации не реверсируется, что сохраняет конгруэнтность за счет постепенного уменьшения просвета в сторону подколенной артерии.

Другим широко признанным методом операции является БПШ аутовеной *in situ*. Его эффективность сопоставима с предыдущей техникой. В исследовании А.О. Ивченко и соавт. (2017) 2-летняя выживаемость пациентов после применения данного вида реваскуляризации составила 75%, а свобода от тромбоза кондуита

достигла 91,7% [18]. В исследовании Н.В. Крепкогорского и соавт. (2015) выживаемость, свободная от дисфункции аутотрансплантата через 2 года после операции, достигла 86,7% [27]. Таким образом, сопоставимый эффект обеих техник БПШ свидетельствует о том, что оба способа БПШ характеризуются высокой эффективностью и безопасностью [43]. В нашем исследовании БПШ ниже щели коленного сустава с использованием методики *in situ* продемонстрировало умеренное повышение риска развития тромбоза в послеоперационном периоде, равно как и методика *ex situ*.

По результатам исследования стадия заболевания (степень тяжести ХИНК) играла значительную роли в оценке риска развития тромбоза шунта и ампутации: более тяжелой степени ишемии соответствовали более высокие риски тромбоза в послеоперационном периоде. Оптимальные результаты в отношении риска развития тромбоза шунта при наличии у пациентов БПВ удовлетворительного демонстрируются при более легкой тяжести ишемии (2б стадии заболевания по Фонтейну ОШ 0,324 (95% ДИ 0,185–0,566), $p<0,001$), при выполнении шунтирования выше щели коленного сустава ОШ 0,363 (95% ДИ 0,215–0,615), $p<0,001$), с использованием реверсированной аутовены (ОШ 0,503 (95% ДИ 0,293–0,865), $p=0,013$). При этом среди трех методик БПШ при необходимости шунтирования ниже щели коленного сустава, применение методик *in situ* и *ex situ* (неревсированной БПВ) сопровождается повышенными рисками тромбоза шунта в послеоперационном периоде – ОШ 1,256 (95% ДИ 1,001–1,577), $p=0,049$ и ОШ 1,174 (95% ДИ 1,023–1,348), $p=0,023$ соответственно.

В нашем исследовании выполнение БПШ ниже щели коленного сустава по методике *in situ* характеризовалось повышением риска ампутации в послеоперационном периоде – ОШ 1,413 (95% ДИ 1,021–1,957), $p=0,037$, равно как и БПШ ниже щели коленного сустава по методике *ex situ* – ОШ 1,331 (95% ДИ 1,132–1,565), $p=0,001$. Наличие сахарного диабета, в особенности на инсулине, значительно увеличивало вероятность ампутации (ОШ 3,192 (95% ДИ 1,142–8,921), $p=0,027$). В отечественной и зарубежной литературе количество публикаций, посвященных методике БПШ *ex situ* ограничено. R.A. Bloch и соавт.

(2018) опубликовали статью, в которой анализируется аналогичный метод БПШ. Однако в их работе кондуит не проводят ортотопически, что является важным отличием этого способа [60]. Поэтому результаты шунтирующих вмешательств по методике *ex situ* с ортотопическим расположением аутовены, представленные в рамках данного исследования, являются по-своему уникальными.

Подводя итог вышеизложенному, важно отметить, что использование методики реверсированной БПВ при удовлетворительном ее размере, представляется наиболее оптимальным.

3.6. Характеристика и результаты лечения когорты 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 (W (wound, рана/язва), I (ischemia, ишемия)), выполнению шунтирующей операции 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 (Таблица 8).

Таблица 8 – Сравнительная характеристика пациентов с БПВ неудовлетворительного размера, данные которых использованы для итогового анализа

Показатель	БПШ веной с руки (n=61)	БПШ АВФ (n=17)	БПШ протезы (n=9)	p
Возраст, M±σ лет	63,18 ± 6,9	64,35 ± 11	63,67 ± 3,2	0,352 ¹
Пол, n (%)				
-мужской	57 (93,4)	15 (88,2)	6 (66,7)	0,047 ²
-женский	4 (6,6)	2 (11,8)	3 (33,3)	
Стадия заболевания по Фонтейну, n (%)				0,005 ²
-2А	1 (1,6)	0 (0)	0 (0)	
-2Б	46 (75,5)	10 (58,8)	4 (44,4)	
-3	6 (9,8)	7 (41,2)	1 (11,1)	
-4	8 (13,1)	0 (0)	4 (44,4)	

Категория ХИНК по Рутерфорду, n (%)				
-1	1 (1,6)	0 (0)	0 (0)	0,002 ²
-2	42 (68,9)	7 (41,2)	3 (33,3)	
-3	5 (8,2)	8 (47,1)	2 (22,2)	
-4	5 (8,2)	2 (11,8)	0 (0)	
-5	8 (13,1)	0 (0)	4 (44,4)	
-6	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
WiFi				
-W (wound, рана/язва)				
-Нет	53 (86,9)	17 (100)	7 (77,8)	0,468 ²
-Маленькая поверхностная язва	5 (8,2)	0 (0)	1 (11,1)	
-Глубокая язва	3 (4,9)	0 (0)	1 (11,1)	
-Обширная глубокая язва	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
-I (ischemia, ишемия)				
ЛПИ	n=45	n=17	n=7	0,278 ²
-ЛПИ \geq 0,8	7 (15,6)	1 (5,9)	0 (0)	
-ЛПИ=0,6-0,79	7 (15,6)	3 (17,6)	1 (14,3)	
-ЛПИ=0,4-0,59	15 (33,3)	11 (64,7)	4 (57,1)	
-ЛПИ \leq 0,39	16 (35,6)	2 (11,8)	2 (28,6)	
-Fi (foot infection, инфекция стопы)				
-Нет инфекции	53 (86,9)	14 (82,4)	4 (44,4)	0,021 ²
-Легкая	4 (6,6)	3 (17,6)	3 (33,3)	
-Средняя	4 (6,6)	0 (0)	2 (22,2)	
-Тяжелая	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Оперативное вмешательство, n (%)				
-Выше щели	42 (68,9)	15 (88,2)	5 (55,6)	0,063 ²
-Ниже щели	19 (31,1)	2 (11,8)	4 (44,4)	
Сопутствующие заболевания и состояния, n (%)				
Поражение КА				
-отсутствует	47 (77)	7 (41,2)	7 (77,8)	<0,001 ²
-гемодинамически незначимое	5 (8,2)	10 (58,8)	1 (11,1)	
-гемодинамически значимое	9 (14,8)	0 (0)	1 (11,1)	
Поражение БЦА				
- отсутствует	46 (75,4)	14 (82,4)	5 (55,6)	0,424 ²
-гемодинамически незначимое	9 (14,8)	3 (17,6)	3 (33,3)	
-гемодинамически значимое	6 (9,8)	0 (0)	1 (11,1)	
Поражение берцовых артерий				
-отсутствует	18 (29,5)	4 (23,5)	2 (22,2)	0,029 ²
-1 артерия	15 (24,6)	10 (58,8)	1 (11,1)	
-2 артерии	17 (27,9)	3 (17,6)	2 (22,2)	
-3 артерии	11 (18)	0 (0)	4 (44,4)	
Стенокардия напряжения	17 (27,9)	2 (11,8)	2 (22,2)	0,386 ²
ХСН	59 (96,7)	10 (58,8)	9 (100)	<0,001 ²
Инфаркт миокарда в анамнезе	9 (14,8)	10 (58,8)	0 (0)	<0,001 ²
ОНМК в анамнезе	5 (8,2)	2 (11,8)	1 (11,1)	0,884 ²
ХОБЛ	46 (75,4)	2 (11,8)	7 (77,8)	<0,001 ²

ХБП	4 (6,6)	0 (0)	0 (0)	0,409 ²
Ожирение				
-отсутствует	1 (1,6)	16 (94,1)	0 (0)	
-1 ст.	18 (29,5)	1 (5,9)	4 (44,4)	<0,001 ²
-2 ст.	25 (41)	0 (0)	2 (22,2)	
-3 ст.	15 (24,6)	0 (0)	2 (22,2)	
-4 ст.	2 (3,3)	0 (0)	1 (11,1)	
-Сахарный диабет	15 (24,6)	6 (35,3)	2 (22,2)	0,646 ²
-на инсулине	3 (4,9)	2 (11,8)	2 (22,2)	0,168 ²
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. ЛПИ – лодыжечно-плечевой индекс. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек, ¹ – дисперсионный анализ, ² – критерий χ^2				

3.7. Исходы среди пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера

В Таблице 9 представлены исходы заболевания, полученные в результате оценки послеоперационного периода у пациентов с БПВ неудовлетворительного размера, кому были выполнены шунтирующие операции венами верхних конечностей, артериализованной БПВ либо синтетическими протезами, где отражены показатели летального исхода, тромбоза шунта, ампутации, кровотечения, нагноения послеоперационной раны, сохранения ишемии конечности, развития инфаркта миокарда, а также необходимость выполнения повторной операции в объеме тромбэктомии из шунта, хирургической обработки послеоперационной раны/санации гематомы, перекрестного бедренно-бедренного шунтирования, реконструкции дистального анастомоза.

Таблица 9 – Исходы среди пациентов с БПВ неудовлетворительного размера

Исход	Показатель
Смерть (общее), n (%)	3 (3,4)
Смерть (госпитальный период), n (%)	1 (1,1)
Смерть (отдаленный период), n (%)	2 (2,3)
Тромбоз шунта (общее), n (%)	14 (16,1)
Тромбоз шунта (госпитальный период), n (%)	3 (3,4)
Тромбоз шунта (отдаленный период), n (%)	13 (14,9)
Ампутация (общее), n (%)	6 (6,9)
Ампутация (госпитальный период), n (%)	4 (4,6)
Ампутация (отдаленный период), n (%)	3 (3,4)

Продолжение Таблицы 9

Кровотечение, n (%)	2 (2,3)
Нагноение послеоперационной раны, n (%)	2 (2,3)
Сохранение ишемии, n (%)	0 (0)
Инфаркт миокарда, n (%)	7 (8)
Повторная операция	Показатель
Тромбэктомия из шунта, n (%)	2 (2,3)
Хирургическая обработка раны/санация гематомы, n (%)	3 (3,4)
Перекрестное шунтирование, n (%)	1 (1,1)
Пластика, реконструкция дистального анастомоза, n (%)	1 (1,1)

В Таблице 10 представлены исходы шунтирующей операции в зависимости от вида выполненной артериальной реконструкции: венами верхних конечностей, артериализованной БПВ (АВФ) либо синтетическими протезами.

Таблица 10 – Исходы среди пациентов с БПВ неудовлетворительного размера в зависимости от вида выполненной артериальной реконструкции

Исход	БПШ веной с руки (n=61)	БПШ АВФ (n=17)	БПШ протезы (n=9)	p
Смерть (общее), n (%)	3 (4,9)	0 (0)	0 (0)	0,516 ¹
Смерть (госпитальный период), n (%)	1 (1,6)	0 (0)	0 (0)	0,806 ¹
Смерть (отдаленный период), n (%)	2 (3,3)	0 (0)	0 (0)	0,646 ¹
Тромбоз шунта (общее), n (%)	9 (14,8)	0 (0)	5 (55,6)	0,001 ¹
Тромбоз шунта (госпитальный период), n (%)	1 (1,6)	0 (0)	2 (22,2)	0,005 ¹
Тромбоз шунта (отдаленный период), n (%)	8 (13,1)	1 (5,9)	4 (44,4)	0,024 ¹
Ампутация (общее), n (%)	3 (4,9)	0 (0)	3 (33,3)	0,003 ¹
Ампутация (госпитальный период), n (%)	2 (3,3)	0 (0)	2 (22,2)	0,024 ¹
Ампутация (отдаленный период), n (%)	1 (1,6)	0 (0)	2 (22,2)	0,005 ¹
Кровотечение, n (%)	2 (3,3)	0 (0)	0 (0)	0,646 ¹
Нагноение послеоперационной раны, n (%)	2 (3,3)	0 (0)	0 (0)	0,646 ¹
Сохранение ишемии, n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	–
Инфаркт миокарда, n (%)	0 (0)	7 (41,2)	0 (0)	<0,001 ¹
Повторная операция	БПШ веной с руки (n=61)	БПШ АВФ (n=17)	БПШ протезы (n=9)	p
Тромбэктомия из шунта, n (%)	1 (1,6)	0 (0)	1 (11,1)	0,163 ¹
Хирургическая обработка раны/санация гематомы, n (%)	3 (4,9)	0 (0)	0 (0)	0,516 ¹
Перекрестное шунтирование, n (%)	0 (0)	0 (0)	1 (11,1)	0,012 ¹
Пластика, реконструкция дистального анастомоза, n (%)	1 (1,6)	0 (0)	0 (0)	0,806 ¹

Примечание: ¹ – критерий χ^2

ROC-анализ среди пациентов с БПВ неудовлетворительного размера

ROC-анализ, проведенный среди пациентов с БПВ неудовлетворительного размера, не позволил создать модели прогнозирования неблагоприятных исходов.

3.8. Логистическая регрессия в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера

Анализ данных с использованием логистической регрессии в когорте пациентов с БПВ неудовлетворительного размера проведен в отношении ключевых исходов заболевания и лечения: летальный исход (смерть), тромбоз, ампутация, развитие инфаркта миокарда (логистическая регрессия в отношении инфаркта миокарда у пациентов с БПВ неудовлетворительного размера не выполнялась ввиду малого количества возникших исходов).

3.8.1 Анализ развития летальных исходов в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера

Анализ логистической регрессии среди пациентов с БПВ неудовлетворительного размера по параметру развития летального исхода в периоде послеоперационного наблюдения показал, что среди прооперированных пациентов достоверных рисков развития летального исхода выявлено не было (Таблица 11).

Таблица 11 – Результаты проведенного регрессионного анализа в отношении летального исхода у пациентов с БПВ неудовлетворительного размера

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	<i>p</i>	ОШ (95% ДИ)	<i>p</i>
Возраст	1,156 (0,938-1,424)	0,174	–	–
Пол -мужской -женский	–	–	–	–
Стадия заболевания по Фонтейну				
-2Б	0,897 (0,078-10,334)	0,93	–	–
-3	–	–	–	–
-4	3,318 (0,277-39,732)	0,344	–	–

Категория ХИНК по Рутерфорду, n				
-1	–	–	–	–
-2	1,36 (0,119-15,598)	0,805	–	–
-3	–	–	–	–
-4	–	–	–	–
-5	3,318 (0,277-39,732)	0,344	–	–
-6	–	–	–	–
Wifi				
-W (wound, рана/язва)	3,211 (0,784–13,159)	0,105	–	–
-I (ischemia, ишемия)	0,389 (0,117–1,29)	0,123	–	–
-Fi (foot infection, инфекция стопы)	1,252 (1,21–7,449)	0,805	–	–
Оперативное вмешательство (1)				
-Вмешательства выше щели к/с	–	–	–	–
-Вмешательства ниже щели к/с	–	–	–	–
Оперативное вмешательство (2)				
-БПШ веной с руки	–	–	–	–
-БПШ АВФ	–	–	–	–
-БПШ протезы	–	–	–	–
Оперативное вмешательство (3)				
-БПШ веной с руки выше щели к/с	–	–	–	–
-БПШ веной с руки ниже щели к/с	–	–	–	–
-БПШ АВФ выше щели к/с	–	–	–	–
-БПШ АВФ ниже щели к/с	–	–	–	–
-БПШ протезы выше щели к/с	–	–	–	–
-БПШ протезы ниже щели к/с	–	–	–	–
Сопутствующие заболевания и состояния				
-Поражение КА		0,837	–	–
-Поражение БЦА	0,825 (0,132–5,165)		–	–
-Поражение Берца	1 (0,156–6,427)	0,279	–	–
-Стенокардия напряжения	1,907 (0,59–6,138)	0,707	–	–
-ХСН	1,6 (0,138–18,586)	0,223	–	–
-Инфаркт миокарда в анамнезе	0,211 (0,017–2,587)	–	–	–
-ОНМК в анамнезе	–	–	–	–
-ХОБЛ	5,5 (0,442–68,499)	0,185	–	–
-ХБП	–	–	–	–
-Ожирение	–	–	–	–
-Сахарный диабет	1,392 (0,486-3,986)	0,538	–	–
-на инсулине	–	–	–	–
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. Берца – берцовые артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек				

3.8.2. Анализ развития тромбоза шунта в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной (БПВ) неудовлетворительного размера по параметру развития тромбоза шунта в периоде послеоперационного наблюдения показал следующие результаты (Таблица 12):

1. Использование синтетических протезов в отличие от аутовены сопровождается повышением вероятности 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 вероятность развития тромбоза протеза в послеоперационном периоде – ОШ 19,636 (95% ДИ 1,872–205,987), $p=0,013$.

3. Наличие поражения брахиоцефальных артерий сопровождалось повышением вероятности развития тромбоза в послеоперационном периоде – ОШ 2,587 (95% ДИ 1,173–5,709), $p=0,019$, поражения берцовых артерий аналогично – ОШ 1,795 (95% ДИ 1,013–3,18), $p=0,045$.

4. Наличие ХБП существенно повышало вероятность развития тромбоза в послеоперационном периоде – ОШ 19,636 (95% ДИ 1,872–205,987), $p=0,013$ согласно результатам однофакторного регрессионного анализа, ОШ 18,383 (95% ДИ 1,296–260,85), $p=0,031$ согласно результатам многофакторного анализа.

5. Наличие сахарного диабета 2 типа на инсулине сопровождалось значительным повышением вероятности развития тромбоза шунта в послеоперационном периоде – ОШ 19,722 (95% ДИ 3,324–117,001), $p=0,001$ согласно результатам однофакторного регрессионного анализа, ОШ 11,171 (95% ДИ 1,395–89,426), $p=0,023$ согласно результатам многофакторного анализа.

Таблица 12 – Результаты проведенного регрессионного анализа в отношении развития тромбоза шунта у пациентов с БПВ неудовлетворительного размера

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	p	ОШ (95% ДИ)	p
Возраст	0,981 (0,912–1,054)	0,601	–	–
Пол				
-мужской	1,6 (0,184–13,889)	0,67	–	–
-женский	0,625 (0,072–5,433)			
Стадия заболевания по Фонтейну				
-2Б	0,776 (0,13–2,767)	0,68	–	–
-3	1,175 (0,121–11,42)	0,889	–	–
-4	3,25 (0,824–12,822)	0,092	1,412 (0,2–9,979)	0,73
Категория ХИНК по Рутерфорду, n				
-1	–	–	–	–
-2	0,879 (0,276–2,797)	0,827	–	–
-3	0,324 (0,039–2,689)	0,297	–	–
-4	0,859 (0,095–7,743)	0,892	–	–
-5	3,25 (0,824–12,822)	0,092	1,412 (0,2–9,979)	0,73
-6	–	–	–	–
Wifi				
-W (wound, рана/язва)	2,733 (1,059–7,049)	0,038	2,864 (0,906–9,054)	0,073
-I (ischemia, ишемия)	1,15 (0,585–2,261)	0,685	–	–
-Fi (foot infection, инфекция стопы)	1,701 (0,727–3,983)	0,221	–	–
Оперативное вмешательство				
-Вмешательства выше щели к/с	0,727 (0,218–2,425)	0,604	–	–
-Вмешательства ниже щели к/с	1,376 (0,412–4,59)			
Оперативное вмешательство				
-БПШ веной с руки	0,923 (0,683–1,248)	0,604	–	–
-БПШ АВФ	–	–	–	–
-БПШ протезы	9,583 (2,166–42,395)	0,003	11,89 (2,248–62,894)	0,004
Оперативное вмешательство				
-БПШ веной с руки выше щели к/с	0,963 (0,817–1,136)	0,658	–	–
-БПШ веной с руки ниже щели к/с	0,996 (0,837–1,186)	0,968	–	–
-БПШ АВФ выше щели к/с	–	–	–	–
-БПШ АВФ ниже щели к/с	–	–	–	–
-БПШ протезы выше щели к/с	19,636 (1,872–205,987)	0,013	5,114 (0,233–112,379)	0,301
-БПШ протезы ниже щели к/с	3,889 (0,587–25,77)	0,159	–	–
Сопутствующие заболевания и состояния				
-Поражение КА	1,038 (0,456–2,361)	0,93	–	–
-Поражение БЦА	2,587 (1,173–5,709)	0,019	1,737 (0,616–4,898)	–
-Поражение Берца	1,795 (1,013–3,18)	0,045	1,732 (0,832–3,604)	0,296
-Стенокардия напряжения	1,318 (0,366–4,74)	0,673	–	0,142
-ХСН	–	–	–	–
-Инфаркт миокарда в анамнезе	1,547 (0,425–5,625)	0,508	–	–
-ОНМК в анамнезе	–	–	–	–
-ХОБЛ	0,725 (0,082–6,404)	0,773	–	–

-ХБП	1,556 (0,445–5,439) 19,636 (1,872–205,987)	0,489 0,013	18,383 (1,296-260,85) 1,147 (0,597-2,203)	0,031
-Ожирение			–	0,681
-Сахарный диабет	1,585 (0,923–2,721) 1,698 (0,503–5,726)	0,095 0,394		–
-на инсулине	19,722 (3,324–117,001)	0,001	11,171 (1,395-89,426)	0,023
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. Берца – берцовые артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек				

Результаты логистической регрессии показали, что использование синтетических шунтов в отличие от аутологичного материала, сопровождалось существенным повышением риска развития тромбоза в послеоперационном периоде – ОШ 11,89 (95% ДИ 2,248–62,894), $p=0,004$, в том числе выше щели коленного сустава), $p=0,013$.

О преимуществах использования аутовены утверждают немало ученых. К.В. Жданович 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: ($n = 53$) – петлевая эндартерэктомия, ($n = 47$) – аутовенозное бедренно-подколенное шунтирование, ($n = 41$) – шунтирование синтетическим протезом. В ходе работы авторы выявили, что наилучшая первичная проходимость зон артериальных реконструкций была зарегистрирована у пациентов, кому выполнялось БПШ с использованием аутовены [8].

Однако в данном исследовании мы сравнивали не реверсированную БПВ или БПВ по методике *in situ*, а исключительно случаи, когда удовлетворительного размера БПВ отсутствовала и альтернативой синтетическому протезу выступали сложные технические вмешательства с использованием нестандартных методик, а именно, БПШ при помощи вен верхних конечностей и артериализованной БПВ малого размера.

В работе авторы под руководством Е. Biroš (2024) проанализировали

результаты инфраингвинальных шунтирований с использованием вен верхних конечностей в отсутствие БПВ в качестве аутотрансплантата. За период исследования было выполнено 49 шунтирований у 48 пациентов; средний возраст составил $68,1 \pm 9,8$; мужчин было 32 (66,7%); индекс массы тела $28,0 \pm 4,8$. Показаниями к операции явились: хроническая ишемия, угрожающая потерей конечности, – 41 (83,7%); острая ишемия конечности – 3 (6,1%); осложнения предыдущих шунтирований с использованием синтетических протезов – 3 (6,1%) или аутологичных – 2 (4,1%). Результаты работы показали, что использование венозных трансплантатов руки при инфраингвинальном шунтировании может быть выполнено безопасно, с низкими случаями периоперационного отторжения трансплантата; при этом вены руки, забранные одним сегментом, имели лучшую проходимость, чем композитные венозные трансплантаты. Авторы считают, что при отсутствии большой подкожной вены, в частности, БПВ, которую можно забрать единым сегментом, предпочтительным выбором кондуита должны быть венозные трансплантаты с верхней конечности [59].

Важной находкой данного исследования стало то, что были выявлены ключевые факторы риска развития тромбоза в послеоперационном периоде среди сопутствующей патологии, в частности, поражение БЦА – ОШ 2,587 (95% ДИ 1,173–5,709), $p=0,019$, ХБП – ОШ 19,636 (95% ДИ 1,872–205,987), $p=0,013$, а также сахарного диабета на инсулине – ОШ 19,722 (95% ДИ 3,324–117,001), $p=0,001$. Наличие сахарного диабета у пациентов с критической ишемией рассматривается в качестве важного неблагоприятного фактора [51].

3.8.3. Анализ необходимости выполнения ампутации в когорте пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера

Анализ логистической регрессии среди пациентов с БПВ неудовлетворительного размера по параметру необходимости выполнения ампутации в периоде послеоперационного наблюдения показал следующие результаты (Таблица 13):

1. Наличие 4 стадии заболевания по Фонтейну либо 5 категории ХИНК по Рутерфорду значительно увеличивало вероятность ампутации – ОШ 8 (95% ДИ 1,399–45,756), $p=0,019$.

2. Наличие раны/язвы согласно классификации WiFi сопровождалось повышенной вероятностью ампутации в послеоперационном периоде – ОШ 3,622 (95% ДИ 1,205–10,885), $p=0,022$.

3. Использование синтетического протеза для выполнения БПШ в отсутствие БПВ подходящего размера сопровождалось значительным увеличением вероятности 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), $p=0,014$.

Таблица 13 – Результаты проведенного регрессионного анализа в отношении необходимости выполнения ампутации у пациентов с БПВ неудовлетворительного размера

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	p	ОШ (95% ДИ)	p
Возраст	1,001 (0,896–1,118)	0,991	–	–
Пол				
-мужской	0,548 (0,057–5,291)	0,603	–	–
-женский	1,825 (0,189–17,625)			
Стадия заболевания по Фонтейну				
-2Б	0,198 (0,034–1,158)	0,072	0,542 (0,056–5,276)	0,598
-3	1,046 (0,113–9,705)	0,968	–	–
-4	8 (1,399–45,756)	0,019	1,123 (0,046–27,15)	0,943
Категория ХИНК по Рутерфорду, n				
-1	–	–	–	–
-2	0,31 (0,054–1,794)	0,191	–	–
-3	–	–	–	–
-4	2,5 (0,25–24,996)	0,435	–	–
-5	8 (1,399–45,756)	0,019	1,123 (0,046–27,15)	0,943
-6	–	–	–	–
Wifi				
-W (wound, рана/язва)	3,622 (1,205–10,885)	0,022	3,462 (1,001–11,967)	0,049
-I (ischemia, ишемия)	1,131 (0,377–3,399)	0,826	–	8
-Fi (foot infection, инфекция стопы)	2,489 (0,87–7,117)	0,089	0,449 (0,049–4,133)	–
				0,48
Оперативное вмешательство				
-Вмешательства выше щели к/с	0,842 (0,144–4,91)	0,848	–	–
-Вмешательства ниже щели к/с	1,187 (0,204–6,924)			

Оперативное вмешательство				
-БПШ веной с руки	0,794 (0,522–1,205)	0,278	–	–
-БПШ АВФ	–	–	–	–
-БПШ протезы	12,5 (2,059–75,882)	0,006	11,747 (1,7–81,187)	0,012
Оперативное вмешательство				
-БПШ веной с руки выше щели к/с	1,011 (0,797–1,281)	0,93	–	–
-БПШ веной с руки ниже щели к/с	–	–	–	–
-БПШ АВФ выше щели к/с	–	–	–	–
-БПШ АВФ ниже щели к/с	–	–	–	–
-БПШ протезы выше щели к/с	5,2 (0,455–59,487)	0,185	–	–
- БПШ протезы ниже щели к/с	13 (1,67–101,188)	0,014	0,91 (0,04–20,715)	0,953
Сопутствующие заболевания и состояния				
-Поражение КА	0,446 (0,072–2,765)	0,386	–	–
-Поражение БЦА	1,487 (0,47–4,709)	0,5	–	–
-Поражение БерцаА	1,961 (0,84–4,581)	0,12	–	–
-Стенокардия напряжения	1,632 (0,277–9,612)	0,588	–	–
-ХСН	0,548 (0,057–5,292)	0,603	–	–
-Инфаркт миокарда в анамнезе	0,7 (0,077–6,381)	0,752	–	–
-ОНМК в анамнезе				
-ХОБЛ	2,114 (0,216–20,725)	0,52	–	–
-ХБП	–	–	–	–
-Ожирение	5,2 (0,455–59,487)	0,185	–	–
-Сахарный диабет	1,216 (0,575–2,574)	0,609	–	–
---на инсулине	–	–	–	–
	–	–	–	–
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. БерцаА – берцовые артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек				

Результаты исследования показали, что риски ампутации существенно повышены при продвинутых стадиях ишемии – при 4-й стадии заболевания по Фонтейну в 8 раз, $p=0,019$, при наличии раны/язвы на нижних конечностях (классификация WiFi) – более, чем в 3,6 раз, $p=0,022$.

Выявленные в рамках данного исследования данные о том, что использование в качестве кондуита синтетического протеза более, чем в 12 раз повышало риск ампутации ($p=0,006$), в особенности, при шунтировании ниже щели коленного сустава – в 13 раз ($p=0,014$), свидетельствуют о том, что в отсутствие БПВ удовлетворительного размера как золотого стандарта кондуита для шунтирующих операций по методике реверсированной аутолены, *in situ* или *ex situ* (неревсированной БПВ), проведение реваскуляризации с применением

технически более сложных вмешательств – артериализованной БПВ малого размера либо венами верхних конечностей, является полностью оправданным, в особенности, вен верхних конечностей с учётом последующего анализа факторов риска развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде при шунтировании ниже щели коленного сустава по методике артериализации БПВ малого размера. Это соответствует данным мировой литературы, где приведены попытки использования аутологичного материала с двухэтапными хирургическими вмешательствами, нацеленными на увеличение размера БПВ малого диаметра [71].

3.8.4. Анализ развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде в когорте пациентов с БПВ неудовлетворительного размера

Анализ логистической регрессии среди пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера по параметру развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде показал следующие результаты (Таблица 14):

1. Наличие 4 категории ХИНК по Рутерфорду увеличивало вероятность 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 аутолены сопровождалось повышенной вероятностью 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 повышенной вероятностью развития повторного инфаркта миокарда – ОШ 5,778 (95% ДИ 1,168–28,582), $p=0,032$;
4. Наличие сопутствующей хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) сопровождалось пониженной вероятностью развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде – ОШ 0,08 (0,009–0,701), $p=0,023$.

Таблица 14 – Результаты проведенного регрессионного анализа в отношении развития инфаркта миокарда в послеоперационном периоде у пациентов с БПВ неудовлетворительного размера

Показатель	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	<i>p</i>	ОШ (95% ДИ)	<i>p</i>
Возраст	1,027 (0,917–1,149)	0,646	–	–
Пол				
-мужской	–	–	–	–
-женский				
Стадия заболевания по Фонтейну				
-2Б	0,571 (0,119–2,751)	0,485	1,106 (0,155-	–
-3	4,705 (0,925–23,929)	0,062	7,917)	0,92
-4	–	–	–	–
Категория ХИНК по Рутерфорду, n				
-1	–	–	–	–
-2	0,24 (0,044–1,315)	0,1	–	–
-3	8,364 (1,644–42,541)	0,01	2,5 (0,292–21,399)	0,403
-4	2,056 (0,211–19,989)	0,535	–	–
-5	–	–	–	–
-6	–	–	–	–
Wifi				
-W (wound, рана/язва)	–	–	–	–
-I (ischemia, ишемия)	1,138 (0,486–2,663)	0,766	–	–
-Fi (foot infection, инфекция стопы)	0,625 (0,107–3,663)	0,603	–	–
Оперативное вмешательство				
-Вмешательства выше щели к/с	2,727 (0,312–23,866)	0,365	–	–
-Вмешательства ниже щели к/с	0,367 (0,042–3,209)			
Оперативное вмешательство				
-БПШ веной с руки	–	–	–	–
-БПШ АВФ	–	–	–	–
-БПШ протезы	–	–	–	–
Оперативное вмешательство				
-БПШ веной с руки выше щели к/с	–	–	–	–
-БПШ веной с руки ниже щели к/с	–	–	–	–
-БПШ АВФ выше щели к/с	1,535 (1,198–1,966)	0,001	–	–
-БПШ АВФ ниже щели к/с	1,294 (0,969–1,728)	0,081	–	–
-БПШ протезы выше щели к/с	–	–	–	–
-БПШ протезы ниже щели к/с	–	–	–	–
Сопутствующие заболевания и состояния				
-Поражение КА	1,381 (0,503–3,79)	0,531	–	–
-Поражение БЦА	0,866 (0,228–3,282)	0,832	–	–
-Поражение Берца	0,608 (0,267–1,384)	0,236	–	–

Стенокардия напряжения				
-ХСН	–	–		
-Инфаркт миокарда в анамнезе	0,24 (0,039–1,471) 5,778 (1,168–28,582)	0,123 0,032	– –	– –
-ОНМК в анамнезе		0,631	0,8 (0,101-6,347)	0,833
-ХОБЛ	1,738 (0,182–16,566)	0,023	–	–
-ХБП		–	1,6 (0,081–31,771)	0,758
-Ожирение	0,08 (0,009–0,701)	–	–	–
-Сахарный диабет	–	0,894	–	–
-на инсулине	1,124 (0,202-6,237)	–	–	–
Примечание: БПШ – бедренно-подколенное шунтирование. ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей. КА – коронарные артерии. БЦА – брахиоцефальные артерии. Берца – берцовые артерии. ХСН – хроническая сердечная недостаточность. ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких. ХБП – хроническая болезнь почек				

Интересные данные были получены в результате регрессионного анализа факторов риска возникновения инфаркта миокарда после операций по реконструкции артерий у пациентов без наличия подходящей большой подкожной вены. Умеренное повышение рисков наблюдалось при проведении шунтирования выше уровня щели коленного сустава с применением артериализованной аутовены (БПВ): отношение шансов составило 1,535 (95%-й доверительный интервал: 1,198–1,966), $p=0,001$. Этот вывод нуждается в дальнейшем изучении, поскольку, кроме временной артериализации венозного кровотока с возможным повышением нагрузки на сердце, общее состояние пациента могло ухудшаться вследствие распространенного мультисистемного атеросклеротического поражения сосудов. Это предположение подкрепляется тем фактом, что пациенты с ранее перенесенным инфарктом миокарда имели почти пятикратное увеличение вероятности повторного инфаркта в постоперационный период ($p=0,032$).

Также интересен факт, свидетельствующий о том, что у пациентов с историей ХОБЛ выполнение хирургической реконструкции артерий сопровождалось снижением риска развития инфаркта миокарда в

послеоперационном периоде: отношение шансов (ОШ) составило 0,08 (95% ДИ 0,009–0,701), $p=0,023$. Такое наблюдение может быть обусловлено наличием у пациентов с ХОБЛ компенсаторного ремоделирования сердечно-легочной системы, способствующего защите организма в условиях оперативного стресса и восстановительного периода.

Коллектив авторов под руководством М. Kluckner (2024) в своей работе сообщают о том, что ипсилатеральная БПВ чаще всего используется для шунтирующих операций при ХИУПК. Однако у более, чем 45% пациентов, которым требуется шунтирование, отсутствует БПВ, подходящая для реваскуляризации. В таких случаях рассматриваются альтернативные кондуиты, такие как контралатеральная БПВ, малая подкожная вена и вены руки. Ряд исследований показывают удовлетворительные результаты подобных реконструкций, в том числе, когда эндоваскулярные методы неприменимы. В данной работе авторы привели результаты изучения особенностей инфраингвинального шунтирования с использованием альтернативных венозных трансплантатов у пациентов 80 лет и старше, страдающих ХИУПК, и приходят к выводу, что такой вид артериальных реконструкций является безопасным и эффективным с точки зрения показателей проходимости шунтов, сохранения конечности и выживаемости по сравнению с результатами лечения более молодых пациентов при отсутствии подходящей ипсилатеральной БПВ. Таким образом, возраст сам по себе не должен становиться препятствием для проведения шунтирующих операций даже у крайне пожилых пациентов с ХИУПК [83].

Наше исследование показало, что в ситуации, когда БПВ не доступна или не пригодна, могут применяться аутовена верхней конечности, методика артериализации БПВ для увеличения ее 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. В целом ауотрансплантат является более предпочтительным относительно искусственного аналога. Р.Е. Калинин и

соавт. (2020) смогли объяснить более высокую частоту дисфункции синтетического протеза относительно аутовены. БПВ имеет эндотелий, что позволяет ей адаптироваться к артериализации. При артериализации вены для использования ее в качестве аутовенозного кондуита, экспрессия VEGF-165 в стенке вены повышается [21].

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

Используемые в медицинской практике схемы оценки состояния артериального русла и прогнозирования результатов лечения не всегда достаточно информативны. Изучение гемодинамики для оценки состояния нативного артериального русла, зон проксимального и дистального анастомозов после различных видов бедренно-подколенного шунтирования представляет собой актуальную задачу науки и практики. Посредством прикладных информационных систем можно точно верифицировать зоны повышенного риска развития атеросклероза и прогнозировать послеоперационный рестеноз. 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*) нереверсированной 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 – БПШ латеральной подкожной веной верхней конечности.

Показанием к оперативному лечению была хроническая артериальная недостаточность II Б стадии по Фонтейну-Покровскому. КТ АГ выполнена на 1-е сутки после операции.

На основании полученных КТ АГ изучены параметры геометрии анастомозов: длина анастомоза, максимальная ширина анастомоза, угол между осью общей бедренной артерии (подколенной артерией) и шунтом. За длину анастомоза принят отрезок между крайними точками анастомоза («носиком» и «пяткой»), ширина измерена между максимально удаленными друг от друга боковыми стенками анастомоза. Угол между бедренно-подколенным шунтом и артерией измерен между осью, проведенной через ОБА проксимально и ПКА дистально, а также через «пятку» анастомоза. Геометрические параметры представлены в Таблице 15.

Таблица 15 – Геометрические параметры проксимального и дистального анастомозов

Пациент	Анастомоз: П-проксимальный, Д-дистальный	Длина анастомоза, мм	Ширина анастомоза, мм	Угол формирования шунта
1	П	22,4	11,5	19
	Д	14,9	7,5	14
2	П	16,8	10,9	25
	Д	25,8	13,1	16
3	П	18,6	12,4	23
	Д	21,1	10,8	44
4	П	16,6	8,8	12
	Д	14,6	6,2	17
5	П	13,6	9,0	36
	Д	24,9	7,2	22

Для оценки параметров гемодинамики в зонах проксимального и дистального анастомозов использовались методы математического моделирования. Данные КТ АГ, а именно аксиальные срезы и 3D модель шунта необходимы для построения геометрической модели.

Геометрические модели бедренно-подколенных шунтов (Sh_01-Sh_05) строились с помощью программного обеспечения SimVascular. Их изображения приведены на Рисунке 14.

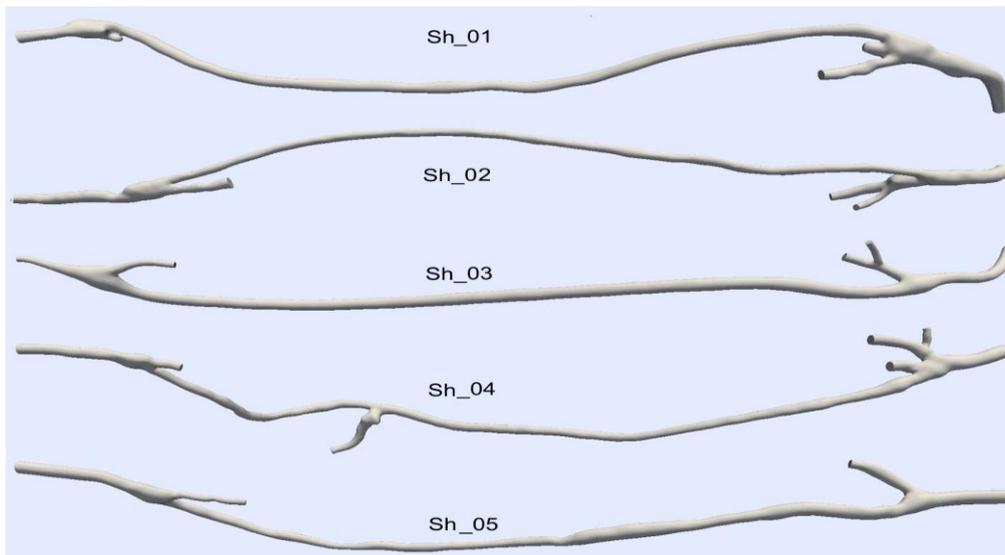


Рисунок 14 – Геометрические модели бедренно-подколенных шунтов

Расчеты кровотока осуществлялись отдельно для проксимальных и дистальных анастомозов каждой из моделей, поэтому были построены модели анастомозов «prox» и «dist» соответственно. Изображения моделей анастомозов приведены на Рисунке 15.

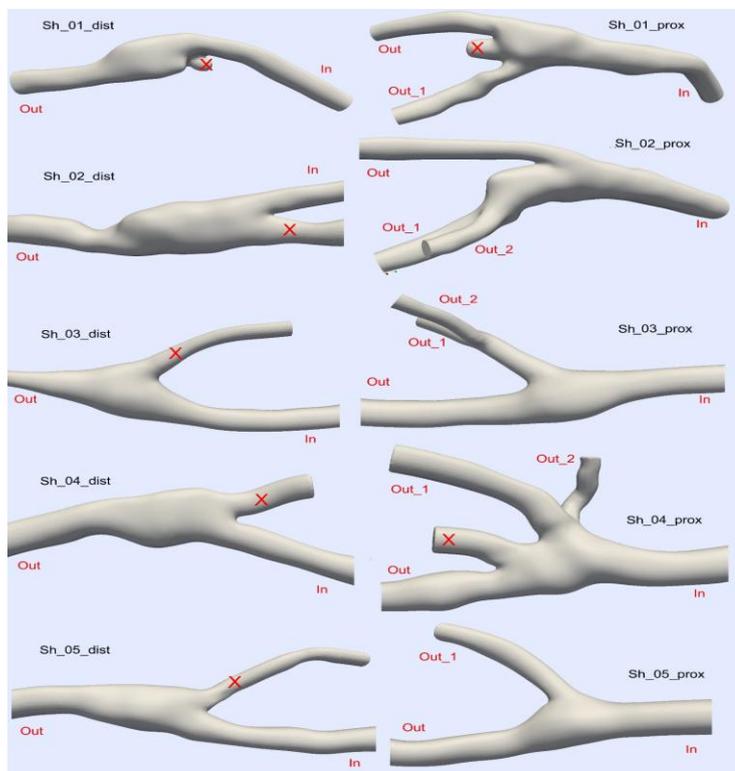


Рисунок 15 – Модели анастомозов

На Рисунке 15 красными надписями указаны сосуды, по которым проходят входные и выходные потоки крови. Знаками «X» помечены участки сосудов, где кровообращение отсутствует (это окклюзированные фрагменты поверхностной бедренной артерии вверху и подколенной артерии внизу).

Для исследования влияния длины анастомоза на изменение гемодинамических характеристик в зоне соединения были разработаны модификации базовых моделей «Sh_01» и «Sh_02», именуемые далее моделями типа «mod». Эти модификации включали удлинение проксимальной зоны анастомоза и сокращение дистальной части. Графическое представление указанных модификаций представлено на Рисунке 16.

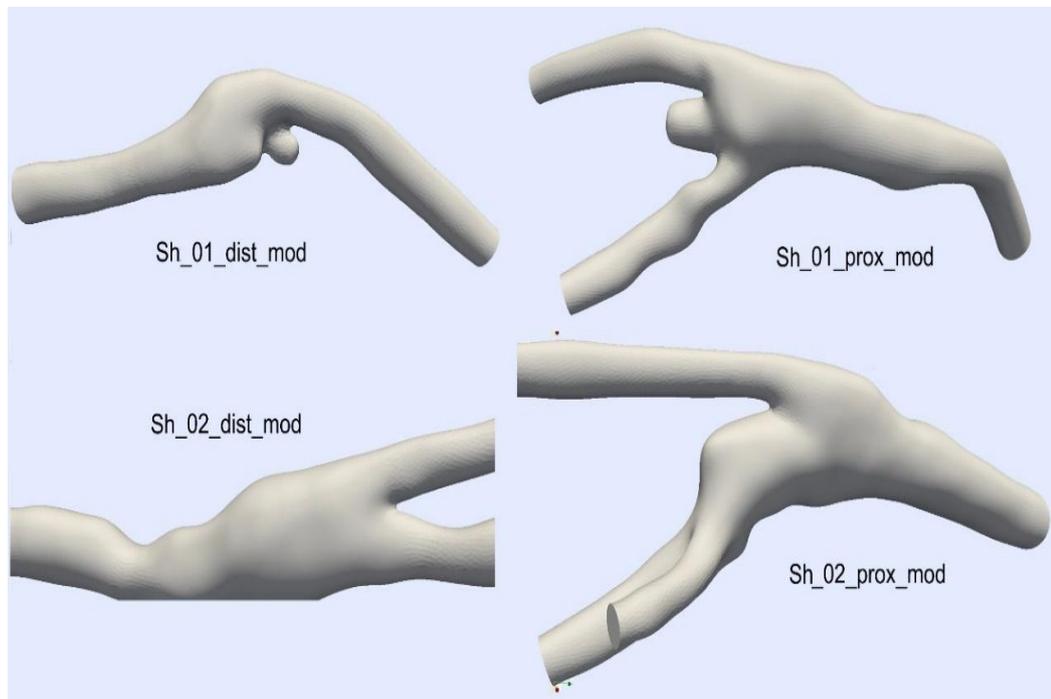


Рисунок 16 – Модифицированные варианты моделей «Sh_01» и «Sh_02»

Кровь считалась вязкой несжимаемой жидкостью с динамической вязкостью $4.0 \cdot 10^{-3} \text{Pa}\cdot\text{s}$ и плотностью 1060 kg/m^3 . Стенки артерий полагались жесткими и на них задавались условия не протекания. На входных сечениях задавалась зависящая от времени скорость потока с временными характеристиками, построенная по данным ультразвукового исследования первого пациента (Рисунок 17).

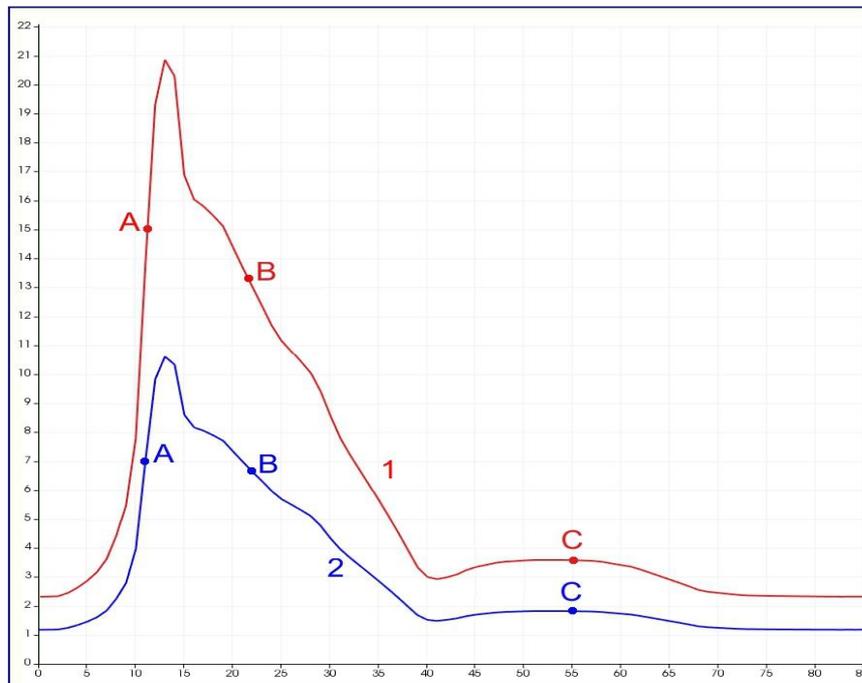


Рисунок 17 – Мгновенные объемные скорости (cm^3/s) на входах для моделей «prox» и «dist»

По оси абсцисс отображается время в ms, по оси ординат – мгновенная объемная скорость в cm^3/s , период кардиоцикла равен 0.83 s. Красная линия соответствует скорости на входном сечении проксимального анастомоза, синяя – дистального.

Точками А, В, С отмечены моменты времени $t=0.11\text{s}, 0.22\text{s}, 0.55\text{s}$, соответственно, для которых на Рисунке 18 построены траектории частиц крови в исходных моделях.

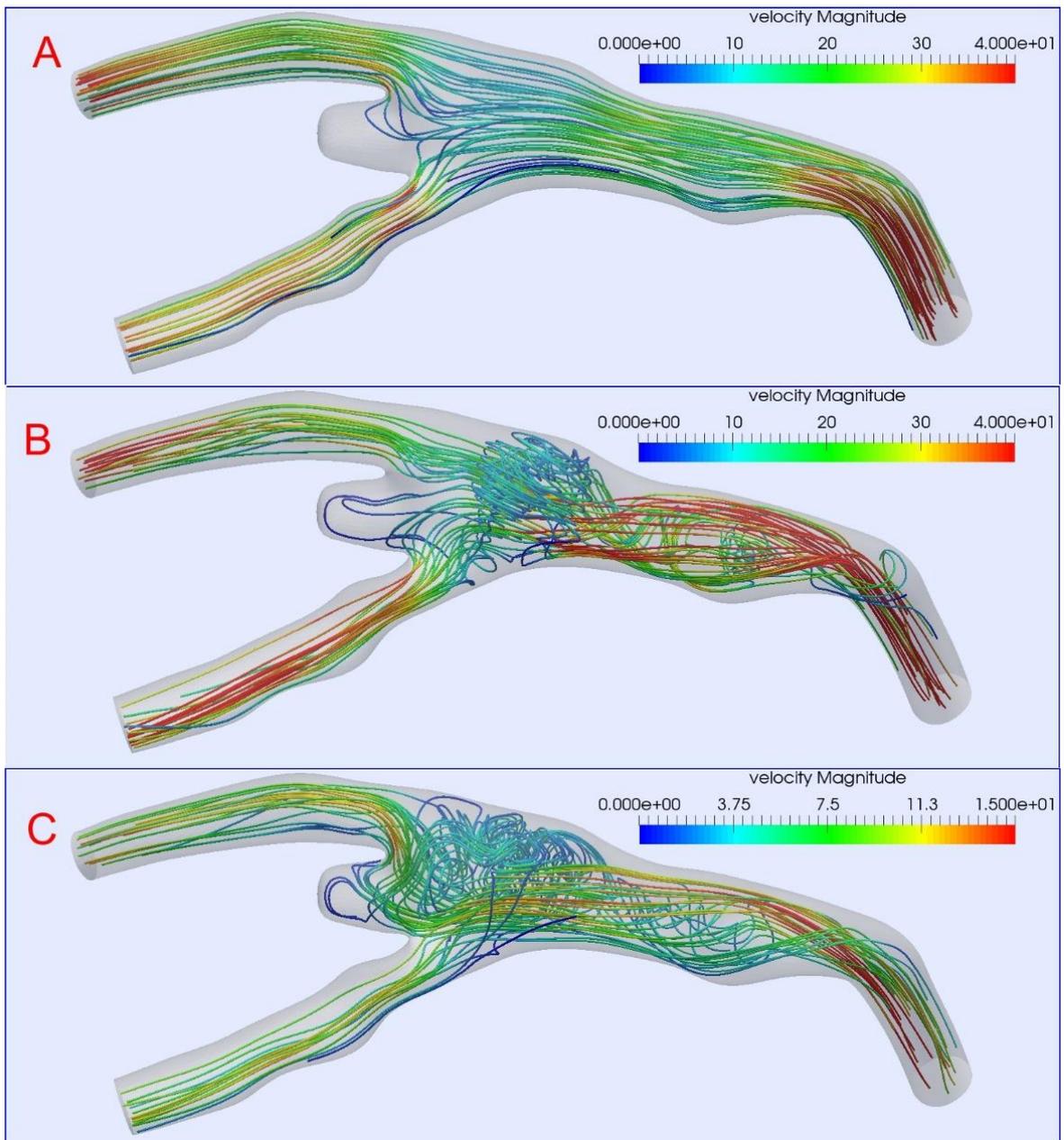


Рисунок 18 – Траектории частиц крови

Средняя объемная скорость на входе для всех проксимальных моделей составляла $5,9 \text{ cm}^3/\text{s} \pm 1\%$, для дистальных $-3,06 \text{ cm}^3/\text{s} \pm 2\%$. На выходных сечениях всех моделей ставились условия RCR, описывающие сопротивление лежащей дистально сосудистой сети. Сопротивления подбирались так, чтобы для проксимальных моделей выходные потоки по выходам «Out» также составляли $3,06 \text{ cm}^3/\text{s} \pm 2\%$, а для остальных выходов – соответствовали данным, указанным в Таблице 16.

Таблица 16 – Объемные скорости (cm^3/s) на выходах моделей «proh»

Sh 01_ Out_1	Sh 02_ Out_1	Sh 02_ Out_2	Sh 03_ Out_1	Sh 03_ Out_2	Sh 04_ Out_1	Sh 04_ Out_2	Sh 05_ Out_1
2,87	1,73	1,15	1,75	1,09	1,71	1,13	2,84

Цветом на Рисунке 20 отображается скорость движения частиц по траектории, в соответствии с приведенной цветовой шкалой. Траектории для модифицированных моделей выглядят аналогично.

В построенных моделях с помощью программного обеспечения SimVascular выполнялись численные расчёты установившегося периодического кровотока. На основании результатов расчётов с помощью программы ParaView строились распределения гемодинамических показателей OSI, TAWSS, RRT. В качестве критерия принадлежности той или иной зоны стенки сосуда использовалось превышения величины RRT значения 6.25 Pa^{-1} (критическое значение). На основании значений показателя RRT, на стенке артерии строились рисковые зоны атерогенеза. Степень риска в конкретной зоне характеризовалась величиной RRT_int – интегральным значением показателя RRT по данной зоне в $\text{Pa}^{-1} \cdot \text{cm}^2$. Зона анастомоза условно разделена на 3 зоны: Z1 – место имплантации шунта, непосредственно сам анастомоз; Z0 и Z2, что соответствует поверхностной бедренной и глубокой бедренной артериям. Вычислялись значения показателя RRT_int по основной зоне – Z1 и отдельным фрагментам (Z2) зоны риска, значение показателя по фрагментам Z0 не учитывалось (Рисунки 19, 20).

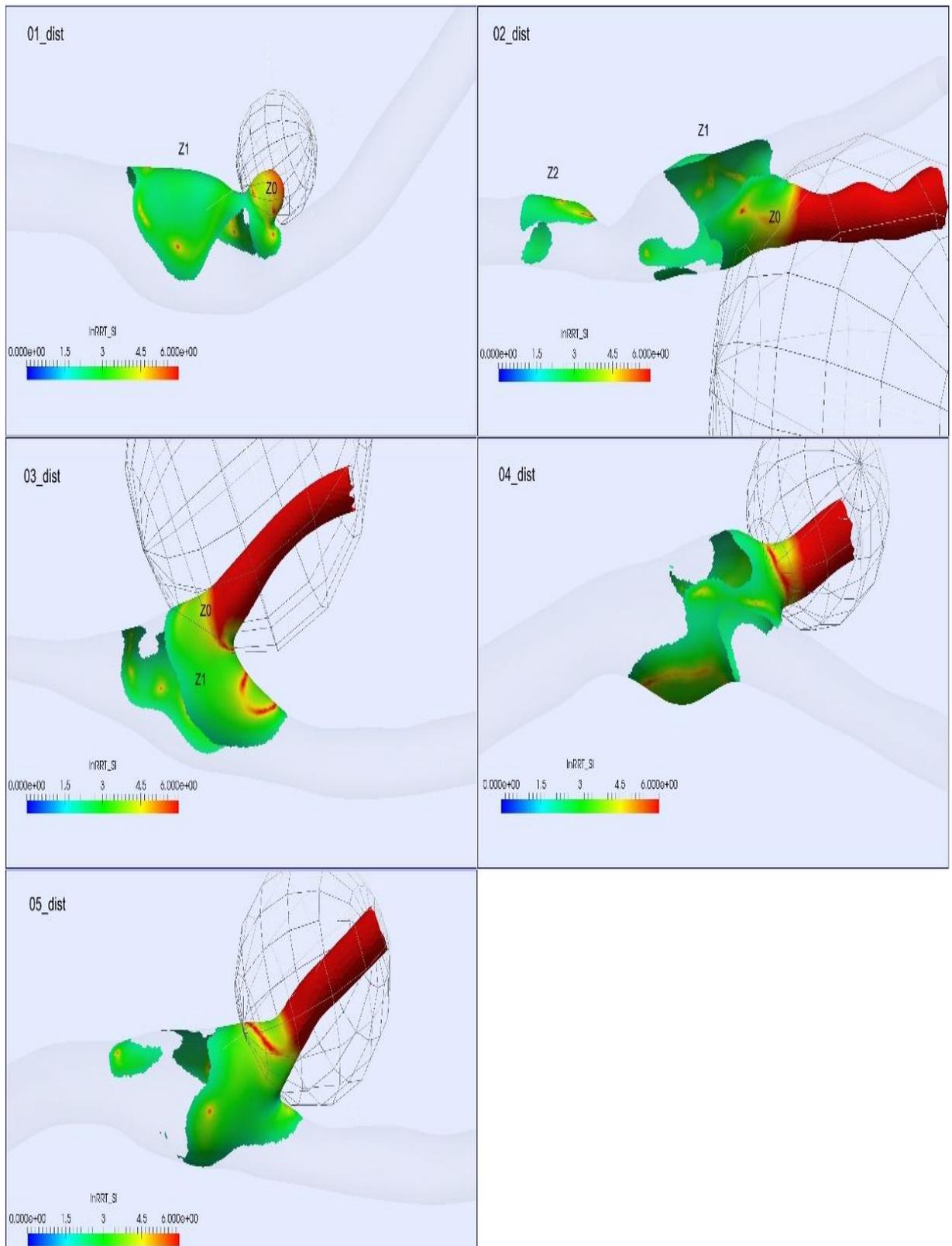


Рисунок 19 – Зоны риска в дистальных анастомозах

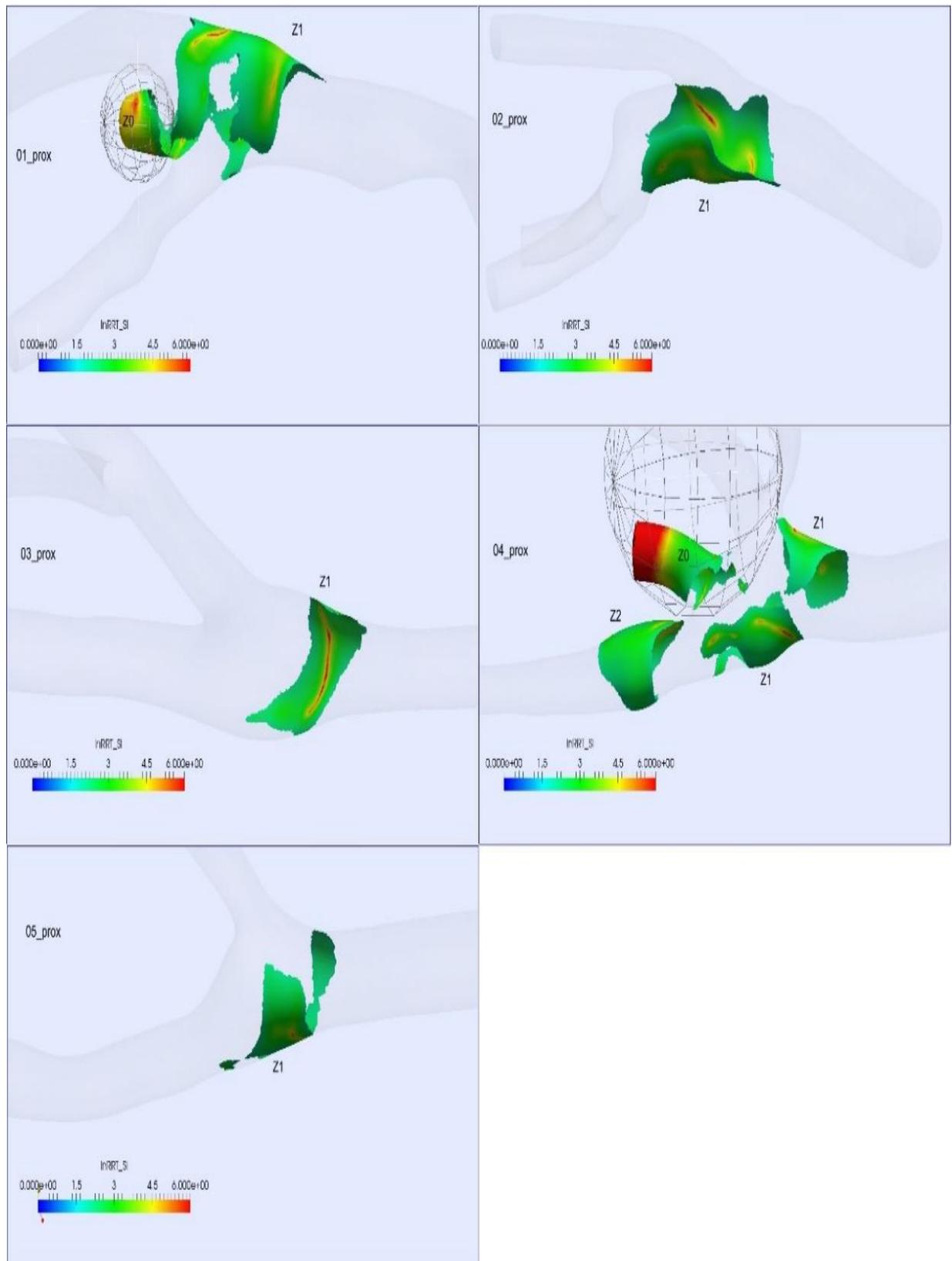


Рисунок 20 – Зоны риска в проксимальных анастомозах

Проводилось также сравнение значений показателя RRT_{int} между моделями «Sh_01» и «Sh_02» и их модифицированными вариантами «mod», что изображено на Рисунках 21,22.

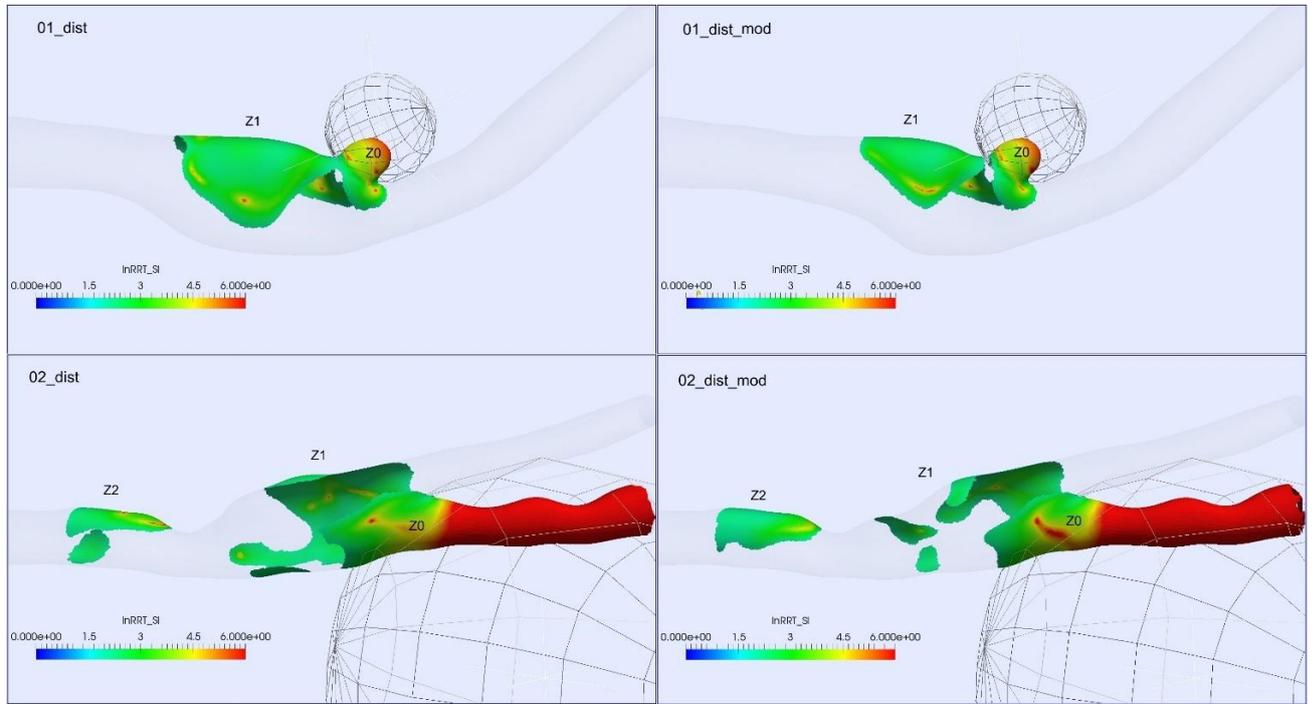


Рисунок 21 – Сравнение зон риска в дистальных анастомозах

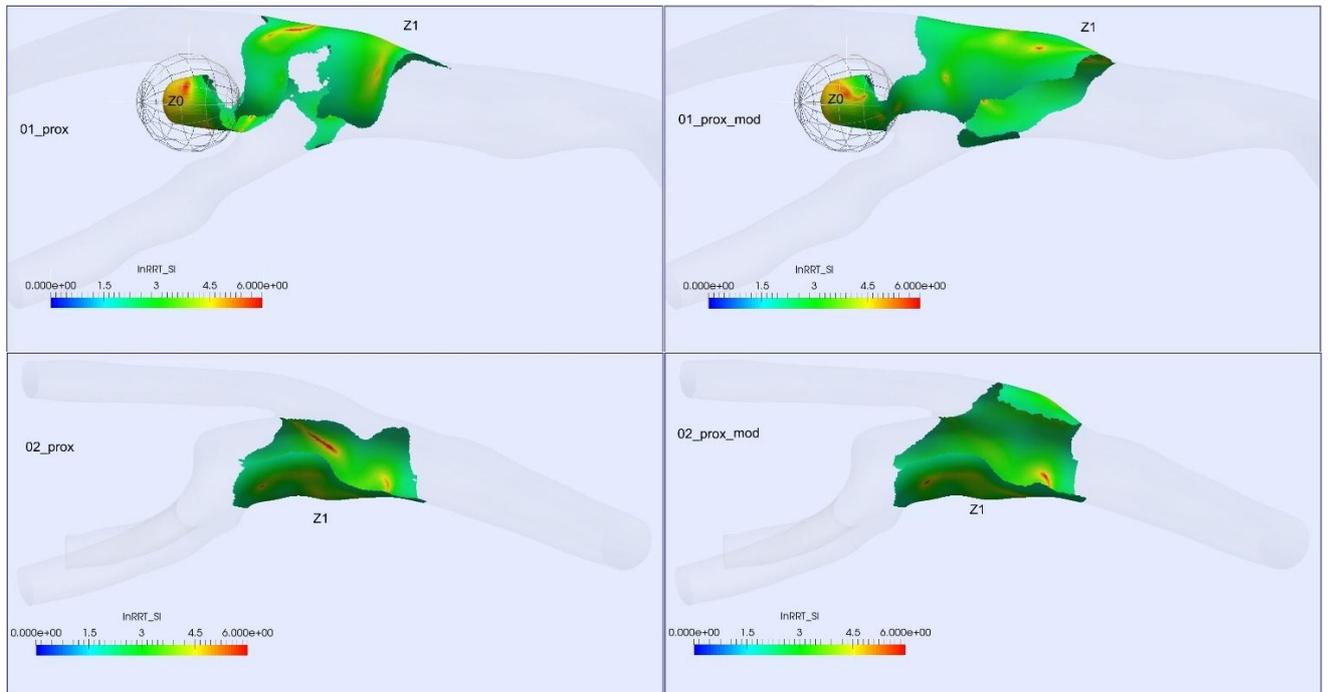


Рисунок 22 – Сравнение зон риска в проксимальных анастомозах

В Таблице 17 приведены значения показателя RRT_int в ($Pa^{-1} \cdot cm^2$) по зонам.

Таблица 17 – Значения показателя RRT_int в ($Pa^{-1} \cdot cm^2$)

	Z1	Z1%	Z2		Z1	Z1%	Z2
Среднее	54,88	100		Среднее	53,22	100	
Sh_01_dist	45,0	-18	----	Sh_01_prox	77,3	+45	----
Sh_02_dist	40,4	-26	18,7	Sh_02_prox	83,5	+57	----
Sh_03_dist	84,7	+54	----	Sh_03_prox	32,1	-40	----
Sh_04_dist	76,9	-40	----	Sh_04_prox	60,5	+13	31,2
Sh_05_dist	27,4	-50	----	Sh_05_prox	13,0	-76	----

В Таблице 18 проведено процентное сравнение значений показателя RRT_int между моделями 01 и 02 их модифицированными вариантами.

Таблица 18 – Сравнение значения показателя RRT_int в ($Pa^{-1} \cdot cm^2$) для исходных и модифицированных моделей

	Z1	Z2		Z1	Z2
Sh_01_dist	45,0	----	Sh_01_prox	77,3	----
Sh_01_dist_mod	34,1	----	Sh_01_prox_mod	93,2	----
Сравнение	-23%		Сравнение	+17%	
Sh_02_dist	40,5	18,7	Sh_02_prox	83,5	----
Sh_02_dist_mod	26,3	9,7	Sh_02_prox_mod	114,2	----
Сравнение	-35%		Сравнение	+37%	

Сложность формы влияет на гемодинамику внутри бифуркации. Поток через прямую трубку, такую как ОБА, ламинарный, однонаправленный и ненарушенный. Однако поток в бифуркации нелинейный и закрученные эффекты («спиральный поток») важны для изменения распределения напряжения сдвига стенки (WSS). Ламинарный поток усиливается вплоть до бифуркации с наибольшей скоростью в месте разделения потока. Напротив разделения скорость ниже и картина течения осложняется зонами рециркуляции и вихрей, которые приводят к сложным паттернам WSS. WSS определяется как напряжение, приложенное параллельно стенке сосуда по сравнению с нормальным напряжением, приложенным перпендикулярно. Области с низким уровнем WSS могут predispose к утолщению интимы и атеросклерозу.

Средние значения рисков фактора RRT_int для дистальных и

проксимальных анастомозов практически совпадают, а отклонения от средних значений весьма велики. Также во всех случаях удлинение зоны анастомоза привело к увеличению показателя RRT_{int}, а укорочение – к уменьшению. При формировании длинного широкого анастомоза создаются условия, при которых нарушения гемодинамики могут способствовать формированию атеросклеротической бляшки и развитию рестеноза в зоне операции.

Математические модели для прогнозирования исходов артериальных реконструкций все активнее изучаются и апробируются [40, 49]. Однако, несмотря на растущий интерес отечественной науки к коллаборации с практической и математической составляющими. В.Ф. Хлебов в 2002 г. в своем исследовании уделил особое внимание глубокой бедренной артерии (ГБА). По заключению автора, при диаметре ГБА менее 3,5 мм и линейной скорости кровотока менее 0,3 м/с возрастает риск развития раннего тромбоза шунта [52]. Тем не менее, математические уравнения, которые были представлены в данном исследовании для определения вероятности формирования этого осложнения, оказались слишком громоздкими для рутинного применения в практике.

Н.Н. Бурков и соавт. (2013) опубликовали результаты исследования, в котором определили совокупный вклад метаболических и генетических факторов риска развития тромбоза и рестеноза шунта. Полученные данные доказали, что применение математической модели, включающей данные критерии, позволяет снизить частоту ранних тромбозов с 17 до 2% [2]. Как и В.Ф. Хлебов, Н.Н. Бурков уделил особое внимание необходимости реконструкции ГБА, как важного этапа операции, способного улучшить послеоперационный прогноз выживаемости, свободной от ампутации конечности. Однако ограничением исследования стало то, что оно посвящалось результатам БПШ биологическим протезам, что не позволяло учитывать выявленные факторы при применении аутовенозных трансплантатов. W. Hitzl И соавт. (2024) в своей статье сообщают о том, что существуют новые концепции, основанные на многостадийных моделях анализа параметров исхода при изучении исходов заболеваний периферических артерий, в том числе при сравнении результатов стентирования артерий бедренно-

подколенного сегмента и выполнения аутовенозного шунтирования [80].

Итогом анализа тех данных, которые нами получены в рамках настоящего исследования стало создание программы 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. Тем не менее, для рутинного использования данного программного обеспечения требуется дальнейшая проспективная апробация в реальной клинической практике.

3.10. Ограничения исследования

К ограничению данного исследования можно отнести его ретроспективный характер, что тем не менее позволило максимально четко охарактеризовать условия реальной клинической практики. Вторым ограничением может служить несопоставимость групп по стадии заболевания при анализе результатов лечения пациентов с БПВ неудовлетворительного размера, однако на окончательный результат по итогам проведения регрессионного анализа данное ограничение не повлияло. Третьим ограничением можно считать отсутствие в математической модели анализа гемодинамики у пациентов с БПШ артериализованной аутовены (БПВ), что связано со сложностью вмешательства и необходимостью моделирования условий меняющихся характеристик кровотока в динамике; удовлетворительные результаты подобных реконструкций диктуют необходимость продолжения изучения характерных для методики особенностей гемодинамики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ретроспективно-проспективное когортное продольное сравнительное исследование включены данные 490 пациентов, которым выполнялись открытые вмешательства ввиду хронической ишемии нижних конечностей вследствие протяженного атеросклеротического стено-окклюзионного поражения бедренно-подколенного артериального сегмента: бедренно-подколенное шунтирование реверсированной аутовеной – 54,3% (n=266), аутовеной по методике *in situ* – 12% (n=59), *ex situ* – 13,5% (n=66), бедренно-подколенное шунтирование аутовеной верхней конечности – 14,9% (n=73), артериализованной большой подкожной вены с предварительным формированием артериовенозной фистулы – 3,5% (n=17), синтетическим протезом – 1,8% (n=9). После дополнительного применения критериев исключения (необходимость выполнения шунтирующей операции на контралатеральной конечности, необходимость выполнения реваскуляризации в прочих артериальных бассейнах помимо поражения артерий бедренно-подколенного сегмента), из исследования были исключены данные 41 пациента, таким образом, в итоговый анализ были включены госпитальные и отдаленные результаты открытого хирургического лечения 449 пациентов.

Пациенты были разделены на 2 когорты в зависимости от технической возможности выполнения тех или иных видов реваскуляризации: 1). пациенты с удовлетворительным размером большой подкожной вены в качестве потенциального кондуита для шунтирующей операции, 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* (n=62); 2). пациенты с неудовлетворительным размером большой подкожной вены в качестве потенциального кондуита для шунтирующей операции, 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).

Всем пациентам проводились общеклинические исследования, включая выяснение жалоб, сбор анамнеза, физикальный осмотр, измерение роста и массы тела, определение артериального давления, частоты сердечных сокращений.

Пациентам выполнялись следующие методы инструментального обследования: компьютерная томография артерий нижних конечностей в режиме Dual Energy (Siemens) с контрастным усилением; цифровая субтракционная ангиография артерий нижних конечностей с использованием радиального либо трансфemorального ретроградного доступа; ультразвуковое исследование артерий и вен конечностей на ультразвуковых сканерах экспертного уровня с использованием линейного и конвексного датчиков; доплерографическое исследование параметров кровотока в тиббиальных артериях (задней и передней большеберцовой артериях) и плечевой артерии с определением лодыжечно-плечевого индекса.

В обеих когортах пациентов был проведен анализ ключевых характеристик, включая пол, возраст, стадию заболевания по Фонтейну, категорию ХИНК по Рутерфорду, тяжесть заболевания по классификации WiFi, выполнение шунтирующей операции выше либо ниже щели коленного сустава, наличие поражения коронарных артерий, брахиоцефальных артерий, 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.

На госпитальном этапе и в отдаленном периоде оценивались исходы заболевания: летального исхода (смерти), тромбоза шунта, ампутации, кровотечения, нагноения послеоперационной раны, сохранения ишемии конечности, развития инфаркта миокарда, а также необходимости выполнения повторной операции в объеме тромбэктомии из аутовенозного шунта, хирургической обработки послеоперационной раны/санации гематомы, либо реконструкции дистального анастомоза. Кроме того, в рамках диссертационного исследования разрабатывалась математическая модель и компьютерная программа

стратификации риска развития тромбоза шунта и ампутации нижней конечности в отдаленном периоде после БПШ для персонифицированного выбора способа БПШ, который характеризовался бы наименьшей вероятностью формирования неблагоприятных событий.

Базы данных по исследуемым пациентам были сформированы в таблицах MS Office Excel (Microsoft, США). Для проведения статистического анализа использовалась программа IBM SPSS 26 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc. Chicago, IL, United States). Помимо рутинных методов статистической обработки данных использовался ROC-анализ для построения прогностических моделей, а также логистическая регрессия. Критический уровень значимости $p < 0,05$ (двусторонняя p).

ROC-анализ среди пациентов с БПВ удовлетворительного диаметра, кому проводились артериальные реконструкции по методике реверсированной аутовены, методикам *in situ* и *ex situ* показал, что при продолжительности времени выполнения артериальной реконструкции свыше 197,5 минут, с чувствительностью 80% и специфичностью 70,4% прогнозируется развитие летального исхода в периоде послеоперационного наблюдения. Было выявлено, что вероятность развития летального исхода у пациентов, кому выполнялись шунтирующие операции аутовеной (реверсированная БПВ, *in situ*, *ex situ*) были ниже у пациентов с умеренной степенью тяжести ХИНК (при 2б стадии заболевания по Фонтейну ОШ 0,309 (95% ДИ 0,098-0,978), $p=0,04$), значительно повышена - при тяжелой её степени (6 категория по Рутерфорду – ОШ 20,261 (95% ДИ 3,05–134,514), $p=0,002$), выше при наличии инфекции стопы (ОШ 1,63 (95% ДИ 1,001–2,655), $p=0,045$), а также при наличии сопутствующего поражения коронарных артерий (ОШ 2,2 (95% ДИ 1,013–4,624), $p=0,046$). Оптимальные результаты в отношении вероятности развития тромбоза в послеоперационном периоде при наличии у пациентов БПВ удовлетворительного размера в качестве потенциального кондукта для реваскуляризации демонстрируются при более легкой тяжести ишемии (2б стадии заболевания по Фонтейну ОШ 0,324 (95% ДИ 0,185–0,566), $p < 0,001$), при выполнении шунтирования выше щели коленного

сустава ОШ 0,363 (95% ДИ 0,215–0,615), $p < 0,001$), с использованием реверсированной аутовены (ОШ 0,503 (95% ДИ 0,293–0,865), $p = 0,013$). При этом при необходимости шунтирования ниже щели коленного сустава применение методик *in situ* и *ex situ* сопровождается повышенной вероятностью тромбоза шунта в послеоперационном периоде – ОШ 1,256 (95% ДИ 1,001–1,577), $p = 0,049$ и ОШ 1,174 (95% ДИ 1,023–1,348), $p = 0,023$ соответственно. Выполнение БПШ ниже щели коленного сустава по методике *in situ* характеризовалось повышением вероятности ампутации в послеоперационном периоде – ОШ 1,413 (95% ДИ 1,021–1,957), $p = 0,037$, равно как и БПШ ниже щели коленного сустава по методике *ex situ* – ОШ 1,331 (95% ДИ 1,132–1,565), $p = 0,001$. Оценка роли сопутствующей патологии в развитии осложнений показало, что наличие сахарного диабета на инсулине значительно увеличивало вероятность ампутации в послеоперационном периоде (ОШ 3,192 (95% ДИ 1,142–8,921), $p = 0,027$).

Анализ характеристик когорты пациентов с большой подкожной веной неудовлетворительного размера показал, что больные были сопоставимы по всем основным показателям за исключением стадии ХИНК и ряда сопутствующей патологии, однако на окончательный результат по итогам проведения регрессионного анализа данное ограничение не повлияло.

Результаты логистической регрессии показали, что использование синтетических шунтов сопровождалось повышением вероятности развития тромбоза в послеоперационном периоде – ОШ 11,89 (95% ДИ 2,248–62,894), $p = 0,004$, в том числе выше щели коленного сустава), $p = 0,013$. Были выявлены факторы вероятности развития тромбоза в послеоперационном периоде, в частности, поражение БЦА – ОШ 2,587 (95% ДИ 1,173–5,709), $p = 0,019$, ХБП – ОШ 19,636 (95% ДИ 1,872–205,987), $p = 0,013$, а также сахарного диабета на инсулине – ОШ 19,722 (95% ДИ 3,324–117,001), $p = 0,001$. Использование в качестве кондуита синтетического протеза более, чем в 12 раз повышало вероятность ампутации ($p = 0,006$), в особенности, при шунтировании ниже щели коленного сустава – в 13 раз ($p = 0,014$). В ходе регрессионного анализа факторов риска развития инфаркта миокарда после артериальных реконструкций у

пациентов в отсутствие БПВ удовлетворительного размера было показано, что вероятность ИМ умеренно повышалась при выполнении шунтирующей операции выше уровня щели коленного сустава с использованием артериализованной аутовены (БПВ) – ОШ 1,535 (95% ДИ 1,198–1,966), $p=0,001$. Вероятность инфаркта миокарда в послеоперационном периоде были более, чем в 5 раз повышены у лиц с перенесенным инфарктом миокарда в анамнезе (постинфарктный кардиосклероз), $p=0,032$.

Подводя итог проведенному исследованию, следует отметить, что несмотря на то, что эндоваскулярные и гибридные вмешательства в последние годы становятся все более распространенными, открытые операции, такие как бедренно-подколенное шунтирование, по-прежнему широко востребованы и регулярно выполняются в хирургических стационарах, осуществляющих лечение пациентов с атеросклерозом артерий нижних конечностей, в особенности, при критической ишемии. Способ выполнения открытой реваскуляризации при атеросклерозе артерий нижних конечностей зависит от большого количества факторов, начиная с клинических проявлений заболевания, от перемежающейся хромоты до болей покоя и развития трофических изменений вплоть до гангрены, особенностями наличия подходящего для шунтирования кондукта и заканчивая оценкой присутствия того или иного вида сопутствующей патологии. Перемежающаяся хромота, классически проявляющаяся как боль в нижних конечностях или утомляемость при нагрузке и проходящая в покое, в ряде случаев оказывает существенное влияние на качество жизни пациентов, нередко переходя в критическую ишемию. Бедренно-подколенное шунтирование может успешно применяться для улучшения дистанции ходьбы у пациентов с тяжелой, ограничивающей жизнь перемежающейся хромотой, а также с целью сохранения конечностей при распространенном поражении артерий инфраингвинального сегмента у пациентов с ишемическими болями в покое или язвенно-некротическими изменениями тканей.

Несмотря на большой опыт, накопленный отечественными и зарубежными сосудистыми хирургами, до сих пор не существует рекомендаций, которые могли

бы дать окончательное и однозначное понимание конкретного выбора способа БПШ ввиду наличия существенных анатомических и клинических различий, характерных для больных с атеросклерозом артерий нижних конечностей. В рутинно клинической практике преимущество отдается использованию аутологичной вены по методикам реверсированной вены *in situ* либо синтетических протезов из политетрафторэтилена или дакрона. При этом методика подготовки аутовены *ex situ*, используемая, как правило, реже, чем стандартная реверсированная вена или *in situ*, позволяет создать бесклапанный нереверсированный конduit. Визуальный контроль выполнения вальвулотомии улучшает контроль качества, сокращает кривую обучения хирурга и повышает эффективность шунтирования. Важно отметить, что в большинстве проведенных ранее исследований сравнивались результаты БПШ с использованием аутовены и синтетического протеза, в то время как в данной работе в первой ее части между собой непосредственно сравнивались различные варианты аутовенозных шунтирований [118]. В данном исследовании нами впервые проведен сравнительный анализ самых распространенных методик бедренно-подколенного шунтирования при протяженном окклюзионном поражении артерий нижних конечностей при удовлетворительном размере большой подкожной вены в качестве потенциального кондуита: шунтирования реверсированной аутовеной, аутовеной по методикам *in situ* и *ex situ*, подтвердив ее эффективность в качестве оптимально подходящего материала для шунтов.

В отсутствие же аутологичного трансплантата удовлетворительного размера ситуация существенно осложняется, и выбор того иного вмешательства в каждой конкретной ситуации становится для сосудистого хирурга весьма затруднительным. В данном исследовании, в ситуациях, когда большая подкожная вена удовлетворительного размера не доступна, помимо синтетических протезов мы предложили выполнять бедренно-подколенное шунтирование артериализованной большой подкожной веной малого диаметра с предварительным формированием артериовенозной фистулы, на что получен патент на изобретение «Способ бедренно-подколенного шунтирования при

суженном диаметре большой подкожной вены» (№ 2022109494 от 08.04.2022). Данная работа позволила впервые провести 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, в частности, шунтирования аутовенами верхних конечностей, артериализованной большой подкожной веной согласно предложенной методике, а также синтетическими протезами, рутинно используемыми в практике ангиохирурга. При этом мы установили, что использование в качестве кондуита синтетического протеза значительно повышало риск ампутации, в особенности, при шунтировании ниже щели коленного сустава, что делает оправданным использование технически сложных вмешательств – артериализованной БПВ малого размера либо вен верхних конечностей в качестве трансплантатов для выполнения бедренно-подколенного шунтирования в отсутствие подходящей большой подкожной вены.

Кроме того, благодаря настоящему исследованию были идентифицированы достоверные факторы риска развития таких грозных осложнений и неблагоприятных исходов послеоперационного периода как тромбоз шунта, ампутация, инфаркт миокарда, развитие летального исхода. Среди пациентов с БПВ удовлетворительного размера отмечено, что вероятность развития тромбоза в послеоперационном периоде более чем в 3 раза была ниже среди пациентов с перемежающейся хромотой ($p < 0,001$), а также в 2 раза ниже при выполнении шунтирования с использованием реверсированной аутовены ($p = 0,013$); детальный анализ факторов риска развития неблагоприятных событий показал, что вероятность развития летального исхода была в 3,23 раза ниже у пациентов с перемежающейся хромотой по сравнению с критической ишемией ($p = 0,04$) в 1,63 выше – при наличии инфекции стопы ($p = 0,045$), в 2,2 раза выше – при наличии поражения коронарных артерий ($p = 0,046$). Важно отметить, что наличие сахарного более чем в 3 раза увеличивало риски ампутации после шунтирования ($p = 0,027$). Среди пациентов с БПВ неудовлетворительного размера отмечено, что

вероятность тромбоза повышалась при наличии поражения берцовых артерий – в 1,795 раз ($p=0,045$), ХБП – более, чем в 19 раз ($p=0,013$), сахарного диабета – аналогично более, чем в 19 раз ($p=0,001$), при этом вероятность инфаркта миокарда в послеоперационном периоде была существенно повышена при наличии критической ишемии ($p=0,01$) и умеренно повышена – при использовании методики артериализованной БПВ ($p=0,001$). Помимо этого, исследование показало, что наличие инфаркта миокарда в анамнезе сопровождалось значительным повышением вероятности развития повторного ИМ ($p=0,032$), в то время как наличие сопутствующей ХОБЛ характеризовалось пониженной вероятностью регистрации такового ($p=0,023$).

Важным итогом представленного исследования стала разработка программы для ЭВМ «Программа для прогнозирования вероятности развития тромбоза бедренно-подколенного шунта и ампутации конечности в отдаленном периоде наблюдения» (свидетельство №2022612588), позволяющей рассчитать риск развития указанных осложнений в госпитальном и отдаленном периодах наблюдения БПШ. Суть данной программы заключается в автоматическом расчете прогностических коэффициентов для каждого фактора риска, имеющегося у пациента, которые вносят вклад в общую вероятность формирования осложнения. Аналогов этой разработки в Российской Федерации не существует. Ее внедрение в сердечно-сосудистую практику будет отвечать основам персонифицированной и трансляционной медицины, что является главным приоритетным направлением здравоохранения нашей страны. В результате того, что пациенты с окклюзионно-стенотическим атеросклеротическим поражением бедренно-подколенного артериального сегмента крайне различаются по клинико-анамнестическим, демографическим и ангиографическим характеристикам, универсального вида реваскуляризации для них не существует. Поэтому созданная программа для ЭВМ (№ 2022612036 от 17.02.2022) является своевременной и крайне важной разработкой. Снижение частоты тромбоза шунта и ампутации конечности после БПШ будет нести высокое экономическое и социальное значение, что будет реализовываться в снижении инвалидизации и увеличении продолжительности

жизни больных.

Таким образом, выбор метода БПШ должен производиться только мультидисциплинарным консилиумом, персонифицировано, с рассмотрением всего комплекса факторов риска, имеющихся у пациента, в том числе с применением созданной программы для ЭВМ (№ 2022612036 от 17.02.2022), что позволит рассчитать риск развития осложнений еще на предоперационном этапе и выбрать оптимальную стратегию лечения.

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 нереверсированной 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 ($p=0,027$ $p=0,027$).

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. Оперирющему 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 СОКРАЩЕНИЙ

АВФ – артериовенозная фистула

БПВ – большая подкожная вена

БПШ – бедренно-подколенное шунтирование

БЦА – брахиоцефальные артерии

ГБА – глубокая бедренная артерия

ДИ – доверительный интервал

ИМ – инфаркт миокарда

КА- коронарная артерия

КТ АГ – компьютерная томография с ангиографией

ЛПИ – лодыжечно-плечевой индекс

МФА – мультифокальный атеросклероз

ОБА – общая бедренная артерия

ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения

ОР – отношение рисков

ОШ – отношение шансов

ПБА – поверхностная бедренная артерия

ПИКС – постинфарктный кардиосклероз

ПКА – подколенная артерия

ПКА – подколенная артерия

ПТФЭ – политетрафторэтилен

Ре-БПШ- повторное бедренно-подколенное шунтирование

СД – сахарный диабет

ФК – функциональный класс

ХБП – хроническая болезнь почек

ХИНК – хроническая ишемия нижних конечностей

ХИУПК – хроническая ишемия, угрожающая потерей конечности

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

ХСН – хроническая сердечная недостаточность

BARC – Bleeding Academic Research Consortium, классификация тяжести

кровотечения

OSI (oscillatory shear index) – индекс колебательного сдвига

RRT (relative residence time) – относительное время задержки

TASC – классификация поражений периферических артерий

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

WSS (Wall Shear Stress) – пристеночное напряжение сдвига

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алуханян, О.А. Совершенствование хирургического лечения хронической ишемии нижних конечностей / О.А. Алуханян, Х.Г. Мартиросян, И.В. Полуэктова, В.А. Авакимян. – Текст: непосредственный // Кубанский научный медицинский вестник. – 2018. – № 6. – С. 14-18.
2. Бубнова, Н.А. Возможности осуществления некоторых вариантов аутовенозного бедренно-подколенного шунтирования у больных хронической ишемией, угрожающей потерей нижней конечности / Н.А. Бубнова. – Текст: непосредственный // XI Санкт-Петербургский септический форум, 18–19 сентября 2024 года: тезисы докладов / Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи имени И.И. Джанелидзе. – СПб.: СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе, 2024. – С. 81–82.
3. Бурков, Н.Н. Прогнозирование риска развития тромбозов и стенозов биопротезов «КемАнгиопротез» путем построения математической модели / Н.Н. Бурков, И.Ю. Журавлева, Л.С. Барбараш. – Текст: непосредственный // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2013. – № 4. – С. 5–11.
4. Бурков, Н.Н. Профилактика и прогнозирование риска развития стенозов и тромбозов биопротезов «Кемангиопротез» путем построения математической модели / Н.Н. Бурков, И. Ю. Журавлева. – Текст: непосредственный // Медицина и образование в Сибири. – 2013. – № 4. – С. 65.
5. Бурков, Н.Н. Результаты бедренно-подколенной реконструкции биологическим протезом «КемАнгиопротез» / Н. Н. Бурков, А. Н. Казанцев, А. И. Ануфриев [и др.]. – Текст: непосредственный // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. – 2020. – №13(1). – С. 29–35.
6. Выхтюк, Т. И. Инфекция области хирургического вмешательства у пациента с поражением сосудистого импланта / Т.И. Выхтюк, В.С. Жуковский. – Текст: непосредственный // Новости хирургии. – 2019. – № 27(3). – С. 344–347.
7. Гавриленко, А. В. Модифицированная шкала Рутерфорда и роль этой модификации в прогнозировании результатов артериальных реконструкций нижних конечностей / А.В. Гавриленко, Н.Н. Аль-Юсеф, В. Сячэнь [и др.]. –

Текст: непосредственный // Анналы хирургии. – 2018. – № 23(6). – С. 366–372.

8. Жданович, К.В. Сравнительный анализ ближайших и отдаленных результатов открытых хирургических вмешательств при протяженной окклюзии поверхностной бедренной артерии. К.В. Жданович, П.Д. Пуздряк, А.В. Гусинский [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2025. – № 20(1). – С. 36–40.

9. Жердев, Н.Н. Эндovasкулярное лечение стенозов и окклюзий кондуитов в бедренно-подколенной позиции: серия клинических наблюдений / Н. Н. Жердев, Ю. А. Кудаев, М. А. Чернявский [и др.]. – Текст: непосредственный // Эндovasкулярная хирургия. – 2021. – № 8(1). – С. 77–83.

10. Закеряев, А.Б. Бедренно-подколенное шунтирование: от истоков до наших дней / А.Б. Закеряев, Р.А. Виноградов, В.В. Матусевич [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2021. – № 16(3). – С. 57–60.

11. Закеряев, А.Б. Непосредственные результаты бедренно-подколенного шунтирования по методике *ex situ* / А. Б. Закеряев, Р. А. Виноградов, П. В. Сухоручкин [и др.]. – Текст: непосредственный // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. – 2022. – № 64(1). – С. 78–85.

12. Закеряев, А.Б. Отдаленные результаты нового способа бедренно-подколенного шунтирования / А.Б. Закеряев, Р. А. Виноградов, П. В. Сухоручкин [и др.]. – Текст: электронный // Российский кардиологический журнал. – 2022. – № 27(8). – С. 32–41. – URL: <https://russjcardiol.elpub.ru/jour/article/view/4843> (дата обращения: 10.10.2023)

13. Закеряев, А.Б. Предикторы отдаленных осложнений бедренно-подколенного шунтирования аутовенозным трансплантатом / А.Б. Закеряев, Р.А. Виноградов, П.В. Сухоручкин [и др.]. – Текст: электронный // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2022. – № 30(2). – С. 213–222. – URL: <https://journals.eco-vector.com/pavlovj/article/view/96438> (дата обращения: 15.10.2023)

14. Закеряев, А.Б. Бедренно-подколенное шунтирование/ А.Б. Закеряев,

Р.А. Виноградов, П.В. Сухоручкин, [и др.]. – Текст: непосредственный // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. – 2023. – № 16(3). – С. 272–282.

15. Закеряев, А.Б. Бедренно-подколенное шунтирование при тотальном кальцинозе подвздошно-бедренного сегмента / А.Б. Закеряев, Р.А. Виноградов, Т.Э. Бахишев [и др.]. – Текст: непосредственный // Инновационная медицина Кубани. – 2024. – № 9(3). – С. 79–83.

16. Закеряев, А.Б. Прогнозирование развития тромбоза бедренно-подколенного шунта в отдаленном периоде наблюдения / А.Б. Закеряев, Р.А. Виноградов, П. В. Сухоручкин [и др.]. – Текст: непосредственный // Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. – 2023. – № 12(3). – С. 386–396.

17. Закеряев, А.Б. Сравнительные результаты различных методов бедренно-подколенного шунтирования аутологичной веной с применением анализа методом сопоставления оценок склонностей (propensity score matching) / А.Б. Закеряев, Р.А. Виноградов, П.В. Сухоручкин [и др.]. – Текст: непосредственный // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. – 2022. – № 10. – С. 44–50.

18. Ивченко, А.О. Использование ксенопротезов, укрепленных конструкцией из никелида титана, в качестве кондуита при бедренно-подколенном шунтировании: рандомизированное контролируемое исследование / А.О. Ивченко, А.Н. Шведов, О.А. Ивченко, И.О. Савельев. – Текст: непосредственный // ActaBiomedicaScientifica (EastSiberianBiomedicalJournal). – 2017. – № 6(2). – С. 114–117.

19. Казаков, Ю. И. Выбор метода реконструктивной операции у больных с атеросклеротической окклюзией бедренно-подколенно-берцового сегмента в стадии критической ишемии / Ю.И. Казаков, И.Б. Лукин. – Текст: непосредственный // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2014. – № 20(3). – С. 135–140.

20. Казанцев, А.Н. Позднее осложнение подвздошно-бедренного протезирования: гигантская псевдоаневризма бранши протеза в области

дистального анастомоза/ А.Н. Казанцев, Н.Н. Бурков, М.С. Баяндин, Ю.И. Гусельникова. – Текст: непосредственный // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2021. – № 3. – С. 73–77.

21. Калинин, Р.Е. Экспрессия сосудистого эндотелиального фактора роста в артериальной стенке при различной сосудистой патологии / Р.Е. Калинин, А.В. Шулькин, И.А. Сучков [и др.]. – Текст: непосредственный // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. – 2020. – № 13(6). – С. 556–560.

22. Кашаев, М.Ш. Сравнительная оценка результатов хирургического лечения пациентов с атеросклеротической окклюзией артерий бедренно-подколенного сегмента в раннем послеоперационном периоде / М.Ш. Кашаев, А.Р. Якупов – Текст: непосредственный // Медицинский вестник Башкортостана. – 2018. – № 13(6). – С. 69–72.

23. Клинические рекомендации «Заболевания артерий нижних конечностей» / Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России, Ассоциация флебологов России, Всероссийское научное общество кардиологов [и др.]. – 2016. – URL: <http://racvs.ru/clinic/files/2016/Diseases-lower-limb-arteries.pdf>. (дата обращения: 20.10.2023). – Текст: электронный.

24. Кохан, Е.П. Ближайшие и отдаленные результаты реконструктивных операций при окклюзионно-стенотических поражениях бедренно-подколенно-берцового артериального сегмента / Е.П. Кохан, О.В. Пинчук, А.В. Образцов [и др.]. – Текст: непосредственный // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. – 2013. – № 6 (2). – С. 37–39.

25. Крепкогорский, Н.В. Использование тепловизора при подготовке нереверсированной аутовены для бедренно-подколенного шунтирования / Н.В. Крепкогорский, И.М. Игнатъев, Р.А. Бредихин. – Текст: непосредственный // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2019. – № 25 (2). – С. 118–122.

26. Крепкогорский, Н.В. Первый опыт бедренно-подколенного шунтирования по методике *in situ* с использованием оригинального способа перевязки притоков аутовены / Н.В. Крепкогорский, И.М. Игнатъев, Р.А. Бредихин [и др.]. – Текст: непосредственный // Кардиология и сердечно-сосудистая

хирургия. – 2021. – № 14 (5). – С. 386–391.

27. Крепкогорский, Н.В. Результаты бедренно-подколенного (берцового) шунтирования по методике *in situ* у пациентов с протяжённым поражением артериального русла нижних конечностей и критической ишемией / Н.В. Крепкогорский, Д.Г. Булатов. – Текст: непосредственный // Казанский медицинский журнал. – 2015. – № 96 (6). – С. 942–949.

28. Крепкогорский, Н.В. Современные методики подготовки аутоveneы к проведению шунтирующих операций (несистематический обзор) / Н.В. Крепкогорский, Р.А. Бредихин. – Текст: непосредственный // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2024. – № 32 (4). – С. 669–680.

29. Крепкогорский, Н.В. Выбор оптимального метода забора и сохранения реверсированной аутоveneы перед протяженным шунтированием у пациентов с критической ишемией нижних конечностей / Н.В. Крепкогорский, Р.А. Бредихин, Н.Ф. Гизатуллина [и др.]. – Текст: непосредственный // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. – 2024. – № 17 (4). – С. 451–456.

30. Кузнецов, М. Р. Способ восстановления магистрального артериального кровотока нижних конечностей / М.Р. Кузнецов, С.В. Сапелкин, А.О. Вирганский [и др.]. – Текст: непосредственный Л.А. Магнитский – Текст: непосредственный // Новости хирургии. – 2017. – № 25 (1). – С. 31–37.

31. Куркин, А.В. Морфология аутовенозного трансплантата для формирования артериального бедренно-подколенного шунта / А.В. Куркин, И.Н. Сагандыков, М.М. Калдыбаев, А.И. Сагандыкова. – Текст: непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 1. – С. 68–71.

32. Луценко, В.А. Результаты инфраингвинальных реконструкций с дистальным анастомозом ниже щели коленного сустава у пациентов с критической ишемией при использовании различных протезных материалов / В.А. Луценко, Р.В. Султанов, А.В. Евтушенко [и др.]. – Текст: непосредственный // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2021. – № 10 (S2). –

С. 45–49.

33. Максимов, А. В. ПТФЭ-протезы в реконструктивной хирургии бедренно-подколенного сегмента при критической ишемии конечности. Стратегия применения и результаты / А.В. Максимов, С.М. Хизриев. – Текст: непосредственный // Практическая медицина. – 2015. – № 4–1 (89). – С. 101–104.

34. Мухамадеев, И.С. Результаты петлевой эндартерэктомии и бедренно-подколенного шунтирования при TASC C и D / И.С. Мухамадеев, А.А. Оборин, В.Н. Данилов [и др.]. – Текст: непосредственный // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2021. – № 27 (1). – С. 107–112.

35. Национальные рекомендации по диагностике и лечению заболеваний артерий нижних конечностей / Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России, Российское общество ангиологов и сосудистых хирургов, Российское общество хирургов [и др.]. – 2019. – URL: https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2019/recommendations_LLA_2019.pdf. (дата обращения: 25.10.2023). – Текст: электронный.

36. Панасюк, О.В. Модификация технологии бедренно-подколенного шунтирования у пациентов с заболеваниями артерий нижних конечностей / Текст: непосредственный // Актуальные проблемы медицины: сб. науч. ст. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием; под ред. О.В. Паснаюк. – Гомель: ГомГМУ, 2024. – № 3. – С. 68–71.

37. Патент № 2549018 Российская Федерация, МПК А61В 17/00. Способ лечения облитерирующего атеросклероза сосудов нижних конечностей: № 2014101196/14: заявл. 15.01.2014: опубл. 20.04.2015 / Майстренко Д. Н., Генералов М. И., Карлов К. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБУ «РНЦРХГ». – 3 с.: ил. – Текст: непосредственный.

38. Патент № 2727033 Российская Федерация, МПК А61В 17/00. Способ подготовки реверсированной аутовены для бедренно-подколенного или -берцового шунтирования: № 2019140725; заявл. 09.12.2019; опубл. 17.07.2020 / Крепкогорский Н.В., Бредихин Р.А.; заявитель и патентообладатель ГАУЗ «МКДЦ». – 3 с.: ил. – Текст: непосредственный.

39. 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: № 2022109494: заявл. 08.04.2022: опубл. 04.05.2023 / Закеряев А.Б., Виноградов Р.А., Бахишев Т.Э. [и др.]. – 15 с.: ил. – Текст: непосредственный.

40. Патент № 2684363 Российская Федерация, МПК А61В 5/00 (2006.01). Способ прогнозирования риска развития послеоперационных осложнений стенозов внутренних сонных артерий: № 2017140004: заявл. 16.11.2017: опубл.08.04.2019 / Закеряев А. Б., Виноградов Р. А., Бахишев Т. Э. [и др.]. – 8 с.: ил. – Текст: непосредственный.

41. Погосян, В. А. Результаты бедренно-подколенного шунтирования синтетическим протезом выше щели коленного сустава / В.А. Погосян, С.А. Чернядьев, Б.В. Фадин. – Текст: непосредственный // Клиническая и экспериментальная хирургия. – 2024. – № 1 (43). – С. 68–73.

42. Рекомендации ЕОК/ЕОСХ по диагностике и лечению заболеваний периферических артерий 2017. – Текст: непосредственный // Российский кардиологический журнал. – 2018. – № 8. – С. 164–221.

43. Самарцев, В.А. Клинический случай хирургического лечения гигантской аневризмы центрального анастомоза после аутовенозного бедренно-подколенного шунтирования / В.А. Самарцев, Д.С. Ваганов, А.Ю. Опарин [и др.]. – Текст: непосредственный // Пермский медицинский журнал. – 2021. – № 38 (1). – С. 144–150.

44. Суковатых, Б.С. Выбор реконструктивной операции при поражениях артерий бедренно-подколенно-берцового сегмента и сомнительных путях оттока / Б. С. Суковатых, М. Б. Суковатых, А. Ю. Григорьян, А. О. Родионов. – Текст: непосредственный // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2019. – № 25 (2). – С. 111–115.

45. Суковатых, Б. С. Результаты применения различных способов аутовенозного бедренно-подколенного шунтирования ниже щели коленного сустава / Б. С. Суковатых, Л. Н. Беликов, М. Б. Суковатых [и др.] – Текст:

непосредственный // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2016. – № 22 (4). – С. 137–143.

46. Суковатых, Б.С. Сравнительная эффективность аутовенозного трансплантата с разрушенными клапанами и биологического протеза в бедренно-подколенной позиции при лечении критической ишемии нижних конечностей / Б. С. Суковатых, Д. В. Сидоров, Л. Н. Беликов, Н. В. Болوماتов. – Текст: непосредственный // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2016. – № 11 (3). – С. 71–75.

47. Суковатых, Б.С. Тканевая реакция венозной стенки на имплантацию синтетического и биологического протезов / Б. С. Суковатых, В. С. Барсуков, Д. В. Сидоров. – Текст: непосредственный // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. – 2015. – № 8 (4). – С. 335–341.

48. Суковатых, Б.С. Эффективность свободного аутовенозного трансплантата при бедренно-подколенном шунтировании ниже щели коленного сустава / Б. С. Суковатых, Л. Н. Беликов, М. Б. Суковатых [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. – 2016. – № 175 (4). – С. 75–79.

49. Татаринцева, З.Г. Прогнозирование наступления летального исхода при сочетании острого коронарного синдрома и фибрилляции предсердий по данным регистра Краснодарского края / З. Г. Татаринцева, Е. Д. Космачева, С. В. Кручинова [и др.]. – Текст: непосредственный // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2019. – № 15 (3). – С. 379–385.

50. Тищенко, И.С. Двухлетние результаты инфраингвинальных реконструкций с использованием аутовенозных шунтов и ксенопротезов / И. С. Тищенко, В. Н. Золкин, Н. В. Максимов [и др.]. – Текст: непосредственный // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2016. – № 22 (4). – С. 130–136.

51. Фролов, Д.В. Отдаленные результаты реваскуляризации нижних конечностей у пациентов с критической ишемией и сахарным диабетом при локализации окклюзионно-стенотического процесса в бедренной и подколенной артериях / Д. В. Фролов, П. В. Мозговой, Д. В. Линченко [и др.]. – Текст:

непосредственный // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2021. – № 3 (79). – С. 146–153.

52. Хлебов, В.Ф. Прогнозирование тромбозов при хирургическом лечении поражений аорто-бедренного и бедренно-подколенного сегментов / В. Ф. Хлебов. – Текст: непосредственный // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2002. – № 1, 3(5). – С. 14–18.

53. Чернявский, М.А. Клинический случай гибридного лечения пациента с многоуровневым атеросклеротическим поражением артерий нижних конечностей / М.А. Чернявский, Б.С. Артюшин, А.В. Чернов [и др.]. – Текст: непосредственный // Патология кровообращения и кардиохирургия. – 2020. - № 4 (22). – С. 103-110.

54. Шульц, О.Г. Гигантская перипротезная (периэксплантатная) серома бедренно подколенного шунта / О. Г. Шульц, А. А. Шульц, Н. Ю. Орлинская. – Текст: непосредственный // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2019. – № 25 (3). – С. 188–193.

55. Adedigba, J. A. Periprosthetic seroma occurrence after femoropopliteal bypass grafting: Surgical management after failure of non-surgical measures in relieving symptoms / J. A. Adedigba, A. S. Volk, H. M. Roach. – Text: unmediated // Vascular. – 2021. – Vol. 29, № 2. – P. 244–247. – DOI: 10.1177/1708538120946546.

56. Ambler, G. K. Graft type for femoro-popliteal bypass surgery / G. K. Ambler, C. P. Twine. – Text: unmediated // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2018. – Vol. 2, № 2. – P. CD001487. – DOI: 10.1002/14651858.CD001487.pub3.

57. Assadian, A. Peripheral Bypass Grafting: Prospective Evaluation of FUSION Vascular Graft for Above Knee Targets (PERFECTION) Study Group. Outcome of the FUSION vascular graft for above-knee femoropopliteal bypass / A. Assadian, H.H. Eckstein – Text: unmediated // Journal of Vascular Surgery. – 2015. – Vol. 61, № 3. – P. 713–719.e1. – DOI: 10.1016/j.jvs.2014.10.005.

58. Betz, T. Evaluation of Long-Term Outcomes of Femoropopliteal Bypass Surgery in Patients With Chronic Limb-Threatening Ischemia in an Endovascular Era / T. Betz, T. Ingolf, S. Markus [et al.]. – Text: unmediated // Annals of Vascular Surgery. –

2021. – Vol. 79. – P. 191–200. – DOI: 10.1016/j.avsg.2021.06.046.

59. Biroš, E. Autologous Alternative Vein Grafts for Infrainguinal Bypass in the Absence of Single-Segment Great Saphenous Vein: A Single-Center Study / E. Biroš, R. Staffa, M Krejčí [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2024. – Vol. 103. – P. 133–140. – DOI: 10.1016/j.avsg.2023.12.067.

60. Bloch, R.A. Characteristics and Outcomes of Characteristics and Outcomes of Patients Undergoing Infrainguinal Bypass in the Endovascular Era / R.A. Bloch, E.E. Mcintosh, F.B. Pomposelli [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2023. – Vol. 97. – P. 59–65. – DOI: 10.1016/j.avsg.2023.12.067.

61. Borghese, O. Treatment of lower limb arterial disease by Dardik graft: It takes one to know one / O. Borghese, A. Pisani, P. Sapienza. – Text: unmediated // *Journal de Médecine Vasculaire*. – 2020. – Vol. 45, № 4. – P. 214–220. – DOI: 10.1016/j.jdmv.2020.04.007.

62. Bossi, M. Cryopreserved Human Allografts for the Reconstruction of Aortic and Peripheral Prosthetic Graft Infection / M. Bossi, M. Tozzi, M. Franchin [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Diseases*. – 2017. – Vol. 10, № 4. – P. 391–397. – DOI: 10.3400/avd.oa.17-00068.

63. Bradbury, A.W. Editor's Choice - Bypass versus Angioplasty in Severe Ischaemia of the Leg (BASIL)-2 Trial: Analysis of the Timing and Causes of Death in Participants Randomised to an Infrapopliteal Vein Bypass or Best Endovascular Treatment First Revascularisation Strategy / A.W. Bradbury, J. Hall, C.A. Moakes [et al.]. – Text: unmediated // *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. – 2025. – Vol. 69, № 1. – P. 102-107. – DOI: 10.1016/j.ejvs.2024.07.029.

64. Chang, H. Non-reversed and Reversed Great Saphenous Vein Graft Configurations Offer Comparable Early Outcomes in Patients Undergoing Infrainguinal Bypass / Chang, H., Veith, F.J., Rockman, C.B. [et al.]. – Text: unmediated // *Eur J Vasc Endovasc Surg*. – 2022. – Vol. 6, № 63. – P. 864-873. – DOI: 10.1016/j.ejvs.2022.04.002.

65. Conte, M.S. Impact of Bypass Conduit and Early Technical Failure on Revascularization for Chronic Limb-Threatening Ischemia / M.S. Conte, A. Farber, A.

Barleben [et al.] – Text: unmediated // Circulation: Cardiovascular Interventions. – 2025. – Vol. 18, № 3. – P. e014716. – DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.124.014716.

66. Deflandre, C. Evaluation of Arterial and Venous Allografts in Subinguinal Bypasses / C. Deflandre, B. Lopez, B. O. Patterson [et al.]. – Text: unmediated // Annals of Vascular Surgery. – 2023. – Vol. 89. – P. 241–250. – DOI: 10.1016/j.avsg.2022.09.039.

67. Dorigo, W. Autologous saphenous vein and heparin-bonded expanded polytetrafluoroethylene as graft materials for below-the-knee femoro-popliteal bypass in patients with critical limb ischemia: A propensity score-matched analysis / W. Dorigo, A. Fargion, G. Bassoli [et al.]. – Text: unmediated // Surgeon. – 2022. – Vol. 20, № 2. – P. 85–93. – DOI: 10.1016/j.surge.2021.02.001.

68. Enzmann, F.K. Vein Bypass Versus Nitinol Stent in Long Femoropopliteal Lesions: 4-Year Results of a Randomized Controlled Trial / F.K. Enzmann, P. Nierlich, T. Hölzenbein [et al.]. – Text: unmediated // Annals of Surgery. – 2023. – Vol. 277, № 6. – P. e1208–e1214. – DOI: 10.1097/SLA.00000000000005413.

69. Enzmann, F. K. The Upper-Arm Basilic-Cephalic Loop: A Valueable Alternative for Below-Knee Arterial Reconstruction / F.K. Enzmann, P. Metzger, J.E.S. Martin [et al.]. – Text: unmediated // Vascular and Endovascular Surgery. – 2021. – Vol. 55, № 4. – P. 348–354. – DOI: 10.1177/1538574420980610.

70. Farber, A. Prosthetic conduits have worse outcomes compared with great saphenous vein conduits in femoropopliteal and infrapopliteal bypass in patients with chronic limb-threatening ischemia / A. Farber, M.T. Menard, M.S. Conte [et al.]. – Text: unmediated // Journal of Vascular Surgery. – 2025. – Vol. 81, № 2. – P. 408-416.e2. – DOI: 10.1016/j.jvs.2024.09.016.

71. Fattoum, M. Lower extremity arterial revascularization using conditioned small-diameter great saphenous vein / M. Fattoum, S. Kennel, P. Knez [et al.]. – Text: unmediated // J Vasc Surg. – 2016. – Vol. 3, № 64. – P. 819-23. – DOI: 10.1016/j.jvs.2016.06.004.

72. Genovese, E.A. Bio-absorbable antibiotic impregnated beads for the

treatment of prosthetic vascular graft infections / E.A. Genovese, E.D. Avgerinos, D.T. Baril [et al.]. – Text: unmediated // *Vascular*. – 2016. – Vol. 24, № 6. – P. 590–597. – DOI: 10.1177/1708538116630859.

73. Gouveia, E Melo R. Microbial evolution of vascular graft infections in a tertiary hospital based on positive graft cultures / R. Gouveia E Melo, B. Martins, D.M. Pedro [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2021. – Vol. 74, № 1. – P. 276–284.e4. – DOI: 10.1016/j.jvs.2020.12.071.

74. Guevara-Noriega, K.A. Cryopreserved Allografts for Treatment of Chronic Limb-Threatening Ischemia in Patients Without Autologous Saphenous Veins / K.A. Guevara-Noriega, G.A. Lucar-Lopez, J.L. Pomar. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2019. – Vol. 60. – P. 379–387. – DOI: 10.1016/j.avsg.2019.03.018.

75. Guntani, A. Revascularization of the Femoropopliteal Artery Region / A. Guntani. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Diseases*. – 2024. – Vol. 17, № 3. – P. 219–221. – DOI: 10.3400/avd.ra.24-00065.

76. Guo, Q. Systematic review and meta-analysis of saphenous vein harvesting and grafting for lower extremity arterial bypass / Q. Guo, B. Huang, J. Zhao. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2021. – Vol. 73, № 3. – P. 1075–1086.e4. – DOI: 10.1016/j.jvs.2020.10.013.

77. Harlander-Locke, M.P. Cryopreserved venous allograft is an acceptable conduit in patients with current or prior angioaccess graft infection / M.P. Harlander-Locke, P.F. Lawrence, A. Ali [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2017. – Vol. 66, № 4. – P. 1157–1162. – DOI: 10.1016/j.jvs.2017.03.450.

78. Haruguchi, H. Intimal hyperplasia and hemodynamic factors in arterial bypass and arteriovenous grafts: a review / H. Haruguchi, S. Teraoka. – Text: unmediated // *Journal of Artificial Organs*. – 2003. – Vol. 6, № 4. – P. 227–235. – DOI: 10.1007/s10047-003-0232-x.

79. Hirth-Voury, A. Comparison of Cryopreserved Arterial Allografts Versus Heparin-bonded Vascular Grafts in Infragenicular Bypass for Chronic Limb Threatening Ischemia / A. Hirth-Voury, N. Massiot, E. Giauffret [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2020. – Vol. 64. – P. 33–42. – DOI: 10.1016/j.avsg.2019.09.003.

80. Hitzl, W. Role of Multistate Models to Predict Patency, Limb Salvage, and Survival: New Concepts to Analyse Data in Peripheral Arterial Disease/ W. Hitzl, M Kluckner, M Pilz [et al.]. – Text: unmediated // European Journal of Vascular and Endovascular Surgery. – 2024. – Vol. 68, № 6. – P. 804-813. – DOI: 10.1016/j.ejvs.2024.08.048.

81. Kawai, Y. Predictors of infrapopliteal vein bypass graft revision in patients with chronic limb-threatening ischemia / Y. Kawai, A. Kodama, T Sato [et al.]. – Text: unmediated // Vascular. – 2024. – Vol. 32, № 1. – P. 65–75. – DOI: 10.1177/17085381221124706.

82. Ketenciler, S. Autologous Saphenous Vein Panel Graft for Vascular Reconstruction / S. Ketenciler, K. Boyacıoğlu, İ. Akdemir [et al.]. – Text: unmediated // Annals of Vascular Surger. – 2018. – Vol. 53. – P. 117–122. – DOI: 10.1016/j.avsg.2018.05.037.

83. Kluckner, M. Alternative vein bypass in octogenarians with chronic limb-threatening ischaemia / M. Kluckner, F.K. Enzmann, W. Hitzl [et al.]. – Text: unmediated // BJS Open. – 2024. – Vol. 8, № 3. – P. zrae041. – DOI: 10.1093/bjsopen/zrae041.

84. Leoce, B.M. Rapid Degradation and Subsequent Endovascular Salvage of Upper Extremity Cryogenic Allograft Bypass / B.M. Leoce, M. Montoya, H. Dardik, T.R. Bernik – Text: unmediated // Annals of Vascular Surgery. – 2019. – Vol. 57. – P. 276.e5–276.e8. – DOI: 10.1016/j.avsg.2018.10.052.

85. Lin, A. Alternative Conduits for Lower Extremity Bypass / A. Lin, E.G. King – Text: unmediated // Annals of Vascular Surgery. – 2024. – Vol. 107. – P. 122-126. – DOI: 10.1016/j.avsg.2023.12.103

86. Lindsey, P. Lower Extremity Bypass Using Bovine Carotid Artery Graft (Artegraft): An Analysis of 124 Cases with Long-Term Results / P. Lindsey, A. Echeverria, M. Cheung [et al.]. – Text: unmediated // World Journal of Surgery. – 2018. – Vol. 42, № 1. – P. 295–301. – DOI: 10.1007/s00268-017-4161-x.

87. Lumsden, A.B. Comparison of Safety and Primary Patency Between the FUSION BIOLINE Heparin-Coated Vascular Graft and EXXCEL Soft ePTFE

(FINEST) Trial Co-investigators. Randomized controlled trial comparing the safety and efficacy between the FUSION BIOLINE heparin-coated vascular graft and the standard expanded polytetrafluoroethylene graft for femoropopliteal bypass. / A.B. Lumsden, N.J. Morrissey. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2015. – Vol. 61, № 3. – P. 703–712. – DOI: 10.1016/j.jvs.2014.10.008.

88. Masmajan, S. Ten Year Experience of Using Cryopreserved Arterial Allografts for Distal Bypass in Critical Limb Ischaemia / S. Masmajan, C. Deslarzes-Dubuis, S. Petitprez [et al.]. – Text: visual // *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. – 2019. – Vol. 57, № 6. – P. 823–831.

89. McGinagle, K.L. Spliced arm vein grafts are a durable conduit for lower extremity bypass / K.L. McGinagle, L. Pascarella, C.K. Shortell [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2015. – Vol. 29, № 4. – P. 716–721. – DOI: 10.1016/j.ejvs.2018.11.020.

90. Mirza, A.K. Endoscopic versus open great saphenous vein harvesting for femoral to popliteal artery bypass / A.K. Mirza, K. Stauffer, M.D. Fleming [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2018. – Vol. 67, № 4. – P. 1199–1206. – DOI: 10.1016/j.jvs.2017.08.084.

91. Miyahara, T. Efficacy of Preoperative Antibiotic Therapy for the Treatment of Vascular Graft Infection / T. Miyahara, K. Hoshina, M. Ozaki, M. Ogiwara. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Diseases*. – 2018. – Vol. 11, № 2. – P. 191–195. – DOI: 10.3400/avd.oa.17-00128.

92. Neufang, A. Contemporary results with the biosynthetic glutaraldehyde denatured ovine collagen graft (Omniflow II) in femoropopliteal position / A. Neufang, F. Duenschede, C. Espinola-Klein [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2020. – Vol. 71, № 5. – P. 1630–1643. – DOI: 10.1016/j.jvs.2019.08.234.

93. Neufang, A. External polytetrafluoroethylene reinforcement of varicose autologous vein grafts in peripheral bypass surgery produces durable bypass function / A. Neufang, C. Espinola-Klein, S. Savvidis [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2018. – Vol. 67, № 6. – P. 1778–1787. – DOI: 10.1016/j.jvs.2017.09.039.

94. Nierlich, P. Alternative Venous Conduits for Below Knee Bypass in the Absence of Ipsilateral Great Saphenous Vein / P. Nierlich, F.K. Enzmann, P. Metzger [et al.]. – Text: unmediated // *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. – 2020. – Vol. 60, № 3. – P. 403–409. – DOI: 10.1016/j.ejvs.2020.06.016.

95. Nierlich, P. Arm Vein versus Small Saphenous Vein for Lower Extremity Bypass in the Absence of Both Great Saphenous Veins / P. Nierlich, F.K. Enzmann, P. Metzger [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2021. – Vol. 70. – P. 341–348. DOI: 10.1016/j.avsg.2020.06.043.

96. Norgren, L. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II) / L. Norgren, W.R. Hiatt, J.A. Dormandy [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2007. – Vol. 45. – P. S5–S67. – DOI: 10.1016/j.jvs.2006.12.037.

97. Nyman, J. Prospective Comparison of Wound Complication Rates after Elective Open Peripheral Vascular Surgery - Endovascular Versus Open Vascular Surgeons / J. Nyman, S. Acosta, R. Svensson-Björk [et al.]. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2024. – Vol. 104. – P. 63–70. – DOI: 10.1016/j.avsg.2023.07.090.

98. O'Banion, L.A. Cryopreserved saphenous vein as a last-ditch conduit for limb salvage / L.A. O'Banion, B. Wu, C.M. Eichler [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2017. – Vol. 66, № 3. – P. 844–849. – DOI: 10.1016/j.jvs.2017.03.415.

99. Perlander, A. Disease Specific Health Related Quality of Life in Patients With Chronic Limb Threatening Ischaemia Undergoing Revascularisation of Femoropopliteal Lesions / A. Perlander, M. Broeren, K. Österberg [et al.]. – Text: unmediated // *EJVES*. – 2023. – Vol. 66, № 2. – P. 245–251. – DOI: 10.1016/j.ejvs.2023.05.014.

100. Piffaretti, G. Prevalence and risk factors for heparin-bonded expanded polytetrafluoroethylene vascular graft infection after infrainguinal femoropopliteal bypasses / G. Piffaretti, W. Dorigo, P. Ottavi [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2019. – Vol. 70, № 4. – P. 1299–1307.e1. – DOI:

10.1016/j.jvs.2019.03.023.

101. Pogorzelski, R. Anastomotic aneurysms--20-years of experience from one center / R. Pogorzelski, P. Fiszer, S. Toutouchi [et al.]. – Text: unmediated // Polish Journal of Surgery. – 2013. – Vol. 85, № 4. – P. 181–191. – DOI: 10.2478/pjs-2013-0028.

102. Preece, R. Influence of crural vessel run-off on short- and mid-term outcomes following femoro-popliteal bypass grafting / R. Preece, L. Mann, S.R. Kulkarni, S.C. Paravastu. – Text: unmediated // Vascular. – 2024. – Vol. 32, № 3. – P. 626-631. – DOI: 10.1177/17085381231153221.

103. Radtka, J.F. Longer Operative Time for Lower Extremity Bypass Surgery is Associated With Inferior Outcomes / J.F Radtka, A. Zil-E-Ali, R. Vicario-Feliciano [et al.]. – Text: unmediated // Journal of Surgical Research. – 2024. – Vol. 300. – P. 352–362. – DOI: 10.1016/j.jss.2024.05.023.

104. Rumba, R. Endovascular Transvenous versus Open Femoropopliteal Bypass / R. Rumba, D. Krievins, N. Ezite. – Text: unmediated // Medicina (Kaunas). – 2024. – Vol. 60, № 5. – P. 777. – DOI: 10.3390/medicina60050777.

105. Rychlik, I.J. A meta-analysis to compare Dacron versus polytetrafluoroethylene grafts for above-knee femoropopliteal artery bypass / I.J. Rychlik, P. Davey, J. Murphy, M.E. O'Donnell. – Text: unmediated // Journal of Vascular Surgery. – 2014. – Vol. 60, № 2. – P. 506–515. – DOI: 10.1016/j.jvs.2014.05.049.

106. Sakamoto, S.I. A novel method of vein cuff creation for below-knee femoropopliteal bypass with a prosthetic graft / S.I. Sakamoto, M. Shibata, K.I. Takahashi [et al.]. – Text: unmediated // Journal of Vascular Surgery Cases, Innovations and Techniques. – 2020. – Vol. 6, № 2. – P. 165–167. – DOI: 10.1016/j.jvscit.2020.02.002.

107. Sapienza, P. Infection of Prosthetic Patches after Femoral Endarterectomy: An Unreported Complication / P. Sapienza, F. Napoli, E. Tartaglia [et al.]. – Text: unmediated // Annals of Vascular Surgery. – 2019. – Vol. 56. – P. 11–16. – DOI: 10.1016/j.avsg.2018.07.069.

108. Sharrock, M. Vein Versus Prosthetic Graft for Femoropopliteal Bypass Above the Knee: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials / M. Sharrock, S.A. Antoniou, G.A. Antoniou – Text: unmediated // *Angiology*. – 2019. – Vol. 70, № 7. – P. 649–661. – DOI: 10.1177/0003319719826460.

109. Shibutani, S. Midterm Results of a Japanese Prospective Multicenter Registry of Heparin-Bonded Expanded Polytetrafluoroethylene Grafts for Above-the-Knee Femoropopliteal Bypass / S. Shibutani, H. Obara, K. Matsubara [et al.]. – Text: unmediated // *Circulation Journal*. – 2020. – Vol. 84, № 3. – P. 501–508. – DOI: 10.1253/circj.CJ-19-0908.

110. Socrate, A.M. Outcomes of biosynthetic vascular graft for infrainguinal femoro-popliteal and femoro-distal revascularization / A.M. Socrate, B. Spampinato, G. Zuccon [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of cardiovascular surgery (Torino)*. – 2021. – Vol. 62, № 4. – P. 369–376. – DOI: 10.23736/S0021-9509.21.11769-0.

111. Sterpetti, A.V. Distal runoff and the development of degenerative changes in autologous reversed saphenous vein femoropopliteal bypass / A.V. Sterpetti, P. Sapienza, A. Cavallaro. – Text: unmediated // *Annals of Vascular Surgery*. – 2011. – Vol. 25, № 6. – P. 766–769. – DOI: 10.1016/j.avsg.2011.01.006.

112. Subramanian, T. Directional atherectomy for retained valves in a femoropopliteal saphenous vein bypass graft / T. Subramanian, R. Weiss, C. Jun Lee. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery Cases, Innovations and Techniques*. – 2023. – Vol. 10, № 2. – P. 101406. – DOI: 10.1016/j.jvscit.2023.101406.

113. Takagi, H. A contemporary meta-analysis of Dacron versus polytetrafluoroethylene grafts for femoropopliteal bypass grafting / H. Takagi, S.N. Goto, M. Matsui [et al.]. – Text: unmediated // *Journal of Vascular Surgery*. – 2010. – Vol. 52, № 1. – P. 232–236. – DOI: 10.1016/j.jvs.2010.02.010.

114. Tong, Y. Limb salvage after aneurysmal degeneration of a cryopreserved vein allograft: Searching the autologous veins of the arm is worth the effort / Y. Tong, G. Febrer, J. Mao [et al.]. – Text: unmediated // *Morphologie*. – 2020. – Vol. 104, № 346. – P. 202–213. – DOI: 10.1016/j.morpho.2020.05.001

115. Troisi, N. Preliminary six-month outcomes of LIMBSAVE (treatment of

critical Limb IscheMia with infragenicular Bypass adopting in situ Saphenous VEin technique) registry / N. Troisi, G. Blasis, M. Salvini [et al.]. – Text: unmediated // *Vascular*. – 2021. – Vol. 29, № 4. – P. 589–596. DOI: 10.1177/1708538120966126.

116. Uhl, C. Comparison of Long-term Outcomes of Heparin Bonded Polytetrafluoroethylene and Autologous Vein Below Knee Femoropopliteal Bypasses in Patients with Critical Limb Ischaemia / C. Uhl, C. Grosch, C. Hock [et al.]. – Text: unmediated // *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. – 2017. – Vol. 54, № 2. – P. 203–211. – DOI: 10.1016/j.ejvs.2017.05.001.

117. van de Laar, B.C. Omniflow II biosynthetic grafts versus expanded polytetrafluoroethylene grafts for infrainguinal bypass surgery. A single-center retrospective analysis / B.C. van de Laar, H.C. van Heusden, P. C. Pasker-de Jong, V. van Weel. – Text: unmediated // *Vascular*. – 2022. – Vol. 30, № 4. – P. 749–758. – DOI: 10.1177/17085381211029815.

118. Vossen, R.J. Systematic review and meta-analysis comparing the autogenous vein bypass versus a prosthetic graft for above-the-knee femoropopliteal bypass surgery in patients with intermittent claudication / R.J. Vossen, T.M. Fokkema, A.C. Vahl [et al.]. – Text: unmediated // *Vascular*. – 2024. – Vol. 32, № 1. – P.91–101. – DOI: 10.1177/17085381221124701.

119. Vossen R.J. Clinical Outcomes following Invasive Treatment of Femoropopliteal Artery Disease: A Retrospective Single-Center Cohort Study / R.J. Vossen, A.C. Vahl, A.D. Montauban van Swijndregt, R. Balm – Text: unmediated // *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. – 2025. – Vol. 36, № 1. – P. 124-136.e1. – DOI: 10.1016/j.jvir.2024.08.030.

120. Williams, D. Tailoring of arteriovenous graft-to-vein anastomosis angle to attenuate pathological flow fields / D. Williams, E.C. Leuthardt, G.M. Genin, M. Zayed – Text: unmediated // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 12153. – DOI: 10.1038/s41598-021-90813-3.