

**ФИЛИАЛ (Г.МОСКВА) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ВОЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННО-МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ С. М.  
КИРОВА» МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*На правах рукописи*

**ТРЕФИЛОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРЕДОПЕРАЦИОННОМ  
ПЛАНИРОВАНИИ РЕКОНСТРУКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ЧЕЛЮСТНО-  
ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРФОРАНТНЫХ ЛОСКУТОВ**

3.1.25. – «Лучевая диагностика»

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук, профессор

Троян Владимир Николаевич

Москва – 2022

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	4
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПЕРФОРАНТНЫХ СОСУДОВ ДЛЯ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРФОРАНТНЫХ ЛОСКУТОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)</b> .....	18
1.1 Челюстно-лицевые дефекты и причины их возникновения.....	18
1.2 Перфорантные лоскуты.....	20
1.3 Методы визуализации перфорантных сосудов.....	22
1.4 Сравнение эффективности визуализации перфорантных сосудов с помощью ультразвукового исследования с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и компьютерно-томографической ангиографии.....	35
1.5 Перспективы направления исследования.....	37
<b>ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	39
2.1 Выборка клинического материала.....	40
2.2 Методы обследования пациентов.....	43
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	52
3.1 Исследование перфорантных сосудов в группе пациентов без использования реваскуляризованного малоберцового аутотрансплантата.....	52
3.2 Исследование перфорантных сосудов в группе пациентов с использованием реваскуляризованного малоберцового аутотрансплантата.....	66
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	73
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	85

<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....</b>	<b>87</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>88</b>

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

3D	– 3 dimensional (трехмерный)
АДС	– Акустическая доплеровская сонография
ВИЧ	– Вирус иммунодефицита человека
ВОЗ	– Всемирная организация здравоохранения
ГБА	– Глубокая бедренная артерия
ДТП	– Дорожно-транспортное происшествие
ИК	– Инфракрасный
ИЦЗ	– Индоцианиновый зеленый
ИЦЗФА	– Индоцианиновая зеленая флуоресцентная ангиография
КТА	– Компьютерно-томографическая ангиография
МКБ-10	– Международная классификация болезней 10-го пересмотра
МП	– Медиальные перфоранты
МРА	– Магнитно-резонансная ангиография
ПЗС	– Прибор с зарядовой связью
РМА	– Реваскуляризированный малоберцовый аутотрансплантат
СКФ	– Скорость клубочковой фильтрации
УВЧ	– Ультравысокочастотный
УЗИ	– Ультразвуковое исследование
ALT	– Anterolateral Thigh Perforator Flap (переднебоковой лоскут бедра)
СРР	– Curved planar reformation (криволинейная реконструкция изображений)
DICOM	– Digital Imaging and Communications in Medicine (цифровая визуализация и коммуникации в медицине)
HU	– Единица шкалы Хаунсфилда
MIP	– Maximum intensity projection (проекция максимальной интенсивности)
MPR	– Multiplanar reconstruction (мультипланарная реконструкция)
VR	– volume rendering (объемный рендеринг)

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы

Дефекты челюстно-лицевой области представляют собой актуальную проблему современного общества и распространенную причину для использования возможностей восстановительной микрохирургии. Основные этиологические факторы возникновения данных патологических состояний – это онкологические заболевания и травмы [Поляков А. П., Ребрикова И. В., 2017; Кропотов М. А. и др., 2018]. Источником последних наиболее часто являются [Mitchener T. A. et al., 2018; Al-Hassani A. et al., 2019; Niazi T. M. et al., 2020; Wusiman P. et al., 2020]:

- дорожно-транспортные происшествия (ДТП);
- падения с высоты (в том числе в результате системных заболеваний, таких как эпилепсия);
- ситуации криминогенного характера;
- производственные и бытовые травмы;
- военные конфликты;
- спортивные и другие травмы.

Травмы, приводящие к развитию дефектов челюстно-лицевой области, составляют до 40 % всех видов травм. При этом, среди пострадавших преобладают мужчины трудоспособного возраста в районе  $33 \pm 11$  лет [Niazi T. M. et al., 2020].

Среди всех онкологических заболеваний на новообразования в челюстно-лицевой области приходится в среднем до 25 %. При этом, число случаев злокачественных опухолей данной локализации неуклонно растет с каждым годом [Каприн А. Д. и др., 2020]. Как следствие, увеличивается количество пациентов, перенесших оперативные вмешательства, связанные с удалением новообразований. Кроме того, возрастает число случаев ДТП и межличностного физического насилия [Крохмаль С. В. и др., 2020]. Таким

образом, все это приводит к росту распространения дефектов челюстно-лицевой области.

При лечении дефектов костей челюстно-лицевой области используют различные импланты, графты и протезы [Шулятникова О. А., 2017; Alasseri N., Alasraj A., 2020; Lim H.-K. et al., 2022], при повреждениях мягких тканей – лоскуты и трансплантаты [Дедиков Д. Н., 2020; Миронова Е. А., 2021; Kim S. R. et al., 2020; Yao X. Y. et al., 2020]. Одним из современных подходов к проведению реконструктивных операций посттравматических дефектов челюстно-лицевой области является использование перфорантных лоскутов – участков ткани с перфорантным сосудом. Данные лоскуты существенно облегчают и ускоряют проведение операций, снижают травматизацию донорского участка и анатомически хорошо подходят для реципиентного участка [Ono S. et al., 2017; Wu B. et al., 2022].

В настоящее время описано большое количество способов для предоперационной визуализации перфорантных сосудов с целью планирования лоскута. К ним относят методы лучевой диагностики (такие как ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерно-томографическая ангиография (КТА) и магнитно-резонансная ангиография (МРА)) [Thimmappa N. et al., 2019; Chen F. R. et al., 2020; Visconti G. et al., 2020; Renzulli M. et al., 2021; Kehrer A. et al., 2021], термографию [Hennessy O., Potter S. M., 2020], а также использование индоцианиновой зеленой флуоресцентной ангиографии в ближней инфракрасной области [Van Den Hoven P. et al., 2022; Wu C.-W. et al., 2022]. Однако каждый из этих подходов имеет те или иные ограничения. Кроме того, важную роль играет локализация донорского участка в силу особенностей своего анатомического строения [Трефилов А. А. и др., 2021; Feng S. et al., 2016; Soliman H. H. et al., 2020]. Для устранения дефектов челюстно-лицевой области, как правило, используют перфорантные лоскуты нижних конечностей. Это обусловлено тем, что они обеспечивают тонкий и пластичный кожный лоскут, а также снижают осложнения в донорской зоне [Wolff K.-D. et al., 2018; Yang R. et al., 2020].

Несмотря на то, что многие авторы сообщают о преимуществе использования метода КТА по сравнению с УЗИ при предоперационном планировании перфорантного лоскута [Soliman H. H. et al., 2020; Renzulli M. et al., 2021], на данный момент существуют немногочисленные исследования, показывающие, что в случае обнаружения перфорантных сосудов в нижних конечностях КТА не позволяет добиться требуемой детализации изображения, что приводит к ошибкам при планировании перфорантного лоскута. В данном случае авторы отдают предпочтение УЗИ [Трефилов А. А. и др., 2021; Feng S. et al., 2016; Soliman H. H. et al., 2020; Lee K. J. et al., 2021].

Таким образом, для определения оптимального метода визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей при предоперационном планировании лоскута (УЗИ или КТА) необходимо провести детальный сравнительный анализ эффективности данных подходов, основываясь на таких параметрах, как точность выявления локализации сосудов, их хода и особенностей строения.

### **Степень разработанности проблемы**

Перфорантные лоскуты повсеместно используются в реконструктивной хирургии, поскольку способны привести к полному восстановлению функций и внешнего вида реципиентного участка, не вызывая при этом существенных повреждений в донорской области [Ono S. et al., 2017]. В случае устранения челюстно-лицевых дефектов хирурги отдают предпочтение перфорантным лоскутам нижних конечностей в силу их небольшой толщины и гибкости, а также безопасности при иссечении из донорского участка [Wolff K.-D. et al., 2018; Yang R. et al., 2020].

Важной задачей предоперационного планирования перфорантного лоскута является определение точной локализации, хода и диаметра перфорантного сосуда [Tenekeci G., 2017; Ono S. et al., 2020, Khoong Y. M. et al., 2021]. Анализ отечественной и зарубежной литературы последних 10 лет показал, что данная проблема вызывает большой интерес со стороны научно-

медицинского сообщества. Как было отмечено в предыдущем разделе, в настоящее время существует большое количество методов для выявления перфорантных сосудов, часть из которых продолжает совершенствоваться. На практике преимущественно используют УЗИ [Shen Y. et al., 2019] и КТА [Wong K. K. et al., 2019]. При этом, некоторые авторы отмечают, что по сравнению с УЗИ КТА является более эффективным и точным методом для выявления перфорантных сосудов, а также описания их анатомических особенностей [Rodkin B. et al., 2019; Soliman H. H. et al., 2020]. Однако было показано, что выбор метода зависит от локализации донорской области. Так, на основе данных, полученных при обследовании небольшой выборки пациентов, Feng с соавт. (2016) установили, что для нижних конечностей УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием демонстрирует бóльшую точность с точки зрения визуализации (95 %) и определения локализации (95 %) перфорантных сосудов, чем КТА (90 % и 82,5 %, соответственно) [Feng S. et al., 2016]. Тем не менее, в настоящее время работы, описывающие преимущество УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием в сравнении с КТА для предоперационного выявления перфорантных сосудов нижних конечностей, единичны и зачастую имеют исторический характер [Feng S. et al., 2016; Debelmas A. et al., 2018; Soliman H. H. et al., 2020; Lee K. J. et al., 2021].

В связи с этим остается не до конца изученным вопрос, какой метод лучевой диагностики обладает бóльшей эффективностью в ходе планирования перфорантного лоскута из данной донорской области. Кроме того, стоит отметить, что в существующих публикациях отсутствует четко прописанный методологический подход к использованию методов лучевой диагностики (УЗИ и КТА) для визуализации перфорантных сосудов в зависимости от конкретного донорского участка нижней конечности.

### **Цель исследования**

Совершенствование лучевой диагностики перфорантных сосудов нижних конечностей перед проведением реконструктивных операций челюстно-лицевой области за счет сравнительного анализа информативности исследований с использованием УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА.

### **Задачи исследования**

1. Изучить возможность УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА выявлять перфорантные сосуды нижних конечностей с диаметром от 1 до 1,5 мм и определять ход данных сосудов.
2. Провести сравнительный анализ эффективности УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА для визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей у пациентов в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута.
3. Сопоставить точность определения анатомической локализации перфорантных сосудов нижних конечностей, установленной с использованием методов УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА, относительно таковой, выявленной при проведении операции.
4. Определить роль и место УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА на предоперационном этапе планирования перфорантных лоскутов нижних конечностей у пациентов с дефектами челюстно-лицевой области.
5. Разработать диагностический алгоритм обследования донорской области пациентов в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута нижней конечности.

### **Научная новизна исследования**

Диссертационное исследование является первым в России научным трудом, посвященным детальному сравнительному анализу эффективности предоперационного выявления перфорантных сосудов нижних конечностей с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА.

На основании результатов диссертационного исследования впервые зарегистрирована и запатентована схема алгоритма выполнения лучевых исследований в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута нижней конечности с использованием реваскуляризованного малоберцового аутотрансплантата и без него для устранения челюстно-лицевых дефектов у пациентов (патент № 134245 от 29.11.2022).

Впервые на большом количестве клинических случаев изучена эффективность выявления перфорантных сосудов нижних конечностей при предоперационном планировании перфорантного лоскута двумя методами лучевой диагностики, наиболее часто используемыми в клинической практике, – УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА.

Проведен детальный сравнительный анализ точности определения локализации перфорантного сосуда в нижних конечностях методами УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА по отношению к его реальному расположению, установленному во время операции.

На основании полученных данных впервые предложен необходимый объем и последовательность исследования донорской области с помощью методов лучевой диагностики при планировании реконструктивных операций по устранению дефектов челюстно-лицевой области.

## **Теоретическая и практическая значимость работы**

В ходе данной работы теоретически и практически обосновано преимущество использования УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием для визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей в ходе предоперационного планирования объема и локализации мягкотканного лоскута для устранения челюстно-лицевых дефектов, полученных вследствие травм или новообразований, а также связанных с ними лечебных манипуляций.

Сопоставлены эффективность предоперационного обнаружения перфорантных сосудов и точность определения их локализации, хода и анатомических особенностей в нижних конечностях двумя методами лучевой диагностики – УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА.

Показано, что при планировании реконструктивных операций по устранению челюстно-лицевых дефектов на основе мягкотканых аутотрансплантатов нижних конечностей достаточно исследовать донорскую область с использованием только УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием.

Выявлено, что в ходе предоперационного планирования перфорантных лоскутов одновременно с костными аутотрансплантатами нижних конечностей необходимо проводить комплексное исследование донорской области с помощью как УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, так и КТА.

Усовершенствован и дополнен алгоритм лучевого обследования в ходе предоперационного планирования аутотрансплантатов из различных участков нижних конечностей, позволяющий оптимизировать подготовку к реконструктивным операциям по устранению дефектов челюстно-лицевой области.

## **Материалы и методы исследования**

Данное диссертационное исследование было выполнено в три этапа.

В ходе первого этапа были изучены данные отечественной и зарубежной литературы по вопросам использования перфорантных лоскутов для устранения различных дефектов тканей у пациентов, описанию разновидностей и классификации лоскутов, а также по применению различных методов визуализации перфорантных сосудов с описанием их преимуществ и ограничений при предоперационном планировании. Всего было изучено 130 литературных источников: 14 отечественных и 116 зарубежных.

На втором этапе были проанализированы данные по эффективности предоперационной визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей двумя методами лучевой диагностики, используемыми в повседневной практике, и сопоставлены с результатами, полученными в ходе операции, у 103 пациентов с дефектами челюстно-лицевой области, находившихся на стационарном лечении в ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. Н. Н. Бурденко» Минобороны России, которым проводили реконструктивные операции с использованием перфорантных лоскутов.

Визуализацию перфорантных сосудов осуществляли с использованием УЗИ-аппарата с режимом цветового доплеровского и дуплексного сканирования, а также компьютерного томографа. Определяли количество подходящих перфорантных сосудов в донорской области, диаметр их просвета и точки прободения фасции, проекции которых отмечали на коже. Производили измерения расстояния от отмеченных точек до места реального выхода перфорантного сосуда, подтвержденного во время проведения операции.

Кроме того, с помощью КТА визуализировали вариативные анатомические особенности кровеносной системы различных участков мягких тканей нижних конечностей пациентов.

На третьем этапе данные по перфорантным сосудам нижних конечностей, полученные с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА, были сравнены с интраоперационными, а также между собой и проанализированы с использованием методов статистической обработки результатов исследования.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

1. УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием является более эффективным методом для поиска и выявления перфорантных сосудов нижних конечностей в ходе предоперационного планирования лоскута по сравнению с КТА: частота обнаружения с помощью УЗИ составляет 100 % (n=103), с использованием КТА – 85,7 % (n=72, для пациентов из подгруппы без использования РМА) и 73,7 % (n=14, для больных из подгруппы с РМА).

2. УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием предоставляет более точную информацию о точке прободения перфорантным сосудом фасции, чем КТА: допустимое отклонение точки выхода перфорантного сосуда из фасции (по сравнению с интраоперационными данными) у УЗИ отмечается в 100 % случаев (n=103), а у КТА – в 78,6 % (n=66, для пациентов из подгруппы без использования РМА) и 68,4 % (n=13, для больных из подгруппы с РМА).

3. При предоперационном планировании мягкотканного перфорантного лоскута нижней конечности целесообразно проводить исследование с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием без использования КТА, тем самым уменьшая временные и экономические затраты, а также снижая лучевую нагрузку на пациента.

4. Забор перфорантного лоскута голени в большинстве случаев сопряжен с одномоментной пересадкой реваскуляризированного малоберцового аутотрансплантата для устранения приобретенных челюстно-лицевых дефектов. В данном случае исследование донорской области следует

проводить с использованием обеих методик лучевой диагностики: УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА.

### **Связь работы с научными программами, планами**

Диссертационная работа выполнена в ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России.

Работа проводилась в соответствии с этическими нормами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека», с поправками 2013 г., и положениями, утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 №266 «Об утверждении Правил клинической практики в Российской Федерации».

Диссертационное исследование одобрено комитетом по этике ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России (протокол № 238 от 23.12.2020 г.).

Тема диссертации и научный руководитель утверждены на заседании ученого совета ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России (протокол №3 от 20 марта 2020 г.).

### **Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности**

Концепция работы, цель, задачи, методы и методики, а также результаты диссертационного исследования полностью соответствуют паспорту специальности 3.1.25. – «Лучевая диагностика».

### **Личный вклад автора в диссертационное исследование**

Автором были сформулированы цель и задачи диссертационной работы, разработаны дизайн и методика проведения исследований, а также положения, выносимые на защиту. Автором был проведен анализ всех отечественных и зарубежных литературных источников по теме диссертационного

исследования. Диссертант выполнил набор материала и принимал участие во всех ультразвуковых и компьютерно-томографических исследованиях.

Автором был получен, проанализирован и статистически обработан весь материал, представленный в диссертации.

Автором написаны статьи, тезисы докладов, диссертация и автореферат. Изданные научные работы представляют результат преимущественно личного научного вклада автора.

### **Достоверность результатов исследования**

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается большим числом проанализированных изображений, полученных с помощью двух методов лучевой диагностики: УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА. На основе этих данных разработана и запатентована схема алгоритма выполнения лучевых исследований в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута нижней конечности с использованием реваскуляризованного малоберцового аутотрансплантата и без него для устранения челюстно-лицевого дефекта.

Результаты диссертационной работы опубликованы в форме статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Тезисы и доклады по данным исследования представлены и обсуждены на конгрессах и конференциях международного, всероссийского и межрегионального уровней.

Выводы и рекомендации основаны на результатах исследования, которые изложены в диссертационной работе и сопровождаются таблицами и рисунками.

Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием современного программного решения (GraphPad Prism 9).

### **Апробация результатов диссертационного исследования**

Диссертационная работа апробирована и рекомендована к защите на межкафедральном заседании кафедры лучевой диагностики

стоматологического факультета ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А. И. Евдокимова» Минздрава России; кафедры (хирургии неотложных состояний) и кафедры (хирургии с курсом онкологии и лучевой диагностики) филиала (г. Москва) ФГБОУ ВО «ВМедА им. С.М. Кирова» Минобороны России (протокол № 4 от 7 ноября 2022 г.).

### **Обсуждение основных положений диссертации**

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на всероссийских, межрегиональных и международных конгрессах и конференциях:

1. Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР) 2018, устный доклад (Москва, 8-10 ноября 2018 г.).
2. Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР) 2019, устный доклад (Москва, 6-8 ноября 2019 г.).
3. IV Межрегиональная научно-практическая online-конференция с международным участием «Лучевая диагностика – Смоленск 2020: конкурс молодых ученых», постерный доклад (Смоленск, 25-25 сентября 2020 г.).
4. Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР) 2020, онлайн (Москва, 9-11 ноября 2020 г.).
5. IX Национальный конгресс «Пластическая хирургия, эстетическая медицина и косметология», онлайн (Москва, 10-12 декабря 2020 г.).
6. Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР) 2022, устный доклад (Москва, 8-10 ноября 2022 г.).

### **Внедрение результатов исследования**

Результаты настоящей работы используются в практической деятельности центра лучевой диагностики и центра ПЭТ ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России, а также в учебной работе кафедры лучевых методов диагностики и лечения МИНО ФГБОУ ВО «МГУПП», кафедры лучевой диагностики стоматологического факультета ФГБОУ ВО

«МГМСУ им. А. И. Евдокимова» Минздрава России, кафедры (хирургии неотложных состояний) ФГБВОУ ВО «ВМедА им. С.М. Кирова» Минобороны России.

### **Публикации по теме диссертации**

Результаты исследований по теме диссертационной работы представлены в 9 публикациях. Из них 3 публикации в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Получен патент на схему алгоритма выполнения лучевых исследований (УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА) в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута нижней конечности с использованием реваскуляризованного малоберцового аутотрансплантата (РМА) и без него для устранения челюстно-лицевого дефекта у пациента (патент № 134245 от 29.11.2022).

### **Объем и структура диссертационной работы**

Диссертационная работа изложена на 103 страницах машинописного текста и состоит из введения, трех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включает 5 таблиц и 23 рисунка. Список литературы содержит 130 источников, из них 14 отечественных и 116 иностранных. Диссертация оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Автор выражает искреннюю благодарность академику РАН, доктору медицинских наук, профессору Крюкову Евгению Владимировичу; коллективам центров лучевой диагностики и челюстно-лицевой хирургии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации за плодотворное сотрудничество и неоценимую помощь, оказанную в ходе проведения данной работы.

# ГЛАВА 1. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПЕРФОРАНТНЫХ СОСУДОВ ДЛЯ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРФОРАНТНЫХ ЛОСКУТОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

## 1.1 Челюстно-лицевые дефекты и причины их возникновения

Под дефектом понимают отсутствие или потерю вещества тканью, а также той или иной ее функции, возникающие в результате самых разнообразных причин. В настоящий момент известно большое число различных дефектов челюстно-лицевой области. Для систематизации имеющихся данных были разработаны и утверждены следующие классификации челюстно-лицевых дефектов [Храмова Н. и др., 2020]:

- по локализации;
- по этиологии;
- кодирование по МКБ-10.

По локализации выделяют:

- дефекты подбородочного изгиба;
- дефекты верхнечелюстного изгиба;
- дефекты угла нижней челюсти;
- дефекты скулоглазничного изгиба;
- линейные дефекты лицевого скелета;
- дефекты латеральных отделов верхней челюсти;
- дефекты латеральных отделов нижней челюсти;
- дефекты ветви нижней челюсти.

По происхождению дефекты челюстно-лицевой области бывают врожденными и приобретенными. Приобретенные дефекты могут быть вызваны следующими факторами:

- травма (механическая, термическая, химическая и пр.);

- инфекция;
- опухоль.

Согласно классификации в соответствии с кодом по МКБ-10, приобретенные дефекты челюстно-лицевой области могут возникать вследствие:

- C00 – злокачественного новообразования губы;
- C06 – злокачественного новообразования других и неуточненных отделов рта;
- D16.4 – доброкачественного новообразования костей черепа и лица;
- D16.5 – доброкачественного новообразования нижней челюсти костной части;
- M 95.2 – других приобретенных деформаций головы;
- M 95.3 – приобретенных деформаций шеи;
- T 90.0 – последствий поверхностной травмы головы;
- T 90.2 – последствий перелома черепа и костей лица;
- T 91.0 – последствий поверхностной травмы и открытого ранения шеи и туловища.

Устранение челюстно-лицевых дефектов представляет собой крайне актуальную и важную задачу, поскольку для нормальной жизни человека важны как правильное функционирование всех органов, так и эстетическая составляющая. Для коррекции дефектов лицевых костей используют различные импланты, графты и протезы [Awadalkreem F. et al., 2020; Hassani A. et al., 2020; Ismail M. B., Darwich K., 2022]. Для устранения повреждений мягких тканей применяют лоскуты и трансплантаты [Vogt P. M. et al., 2019; Liu A. et al., 2021]. Одним из современных подходов к проведению реконструктивных операций дефектов челюстно-лицевой области является использование перфорантных лоскутов [Dölen U. C. et al., 2018; Wolff K.-D. et al., 2018; Horta R. et al., 2019; Yao X. Y. et al., 2020].

## 1.2 Перфорантные лоскуты

Перфорантные лоскуты – это участки ткани с перфорантным сосудом (перфорантом) [Orgill D. P. et al., 2020]. Перфоранты ответвляются от магистральных артерий и направляются в сторону кожи по межмышечным перегородкам или через мышечную ткань, перфорируя ее. В непосредственной близости к самой коже они могут разветвляться. Каждый из перфорантных сосудов обеспечивает питание определенной зоны – перфорасомы [Храмова Н. В. и др., 2020; Leung R. et al., 2018]. Несколько перфорасом, связанные в широкую сосудистую сеть, формируют ангиосому. Впервые ангиосомная теория была разработана и описана в 1987 году Тейлором и дополнена Палмером. Исходя из этой теории, все тело человека можно разделить на отдельные трехмерные участки кожи с подлежащими тканями, кровоснабжаемыми сосудами [Tenekeci G., 2017]. На данный момент известно 374 ангиосомы, которые можно использовать в клинической практике [Храмова Н. В. и др., 2020].

Согласно номенклатуре перфорантных лоскутов перфоранты можно разделить на прямые кожные перфоранты, кожно-перегородочные перфоранты и кожно-мышечные перфоранты [Tenekeci G., 2017; Low O.-W. et al., 2019]. Прямой кожный перфорант представляет собой перфорант, прорастающий от проксимального сосуда к дерме и не пересекающий мышцу или глубокую фасцию. Такой тип перфорантов в основном встречается на лице, промежности и т.д. Кожно-перегородочный (или кожно-фасциальный) перфорант проникает между соседними мышцами и преимущественно локализуется в конечностях. Кожно-мышечный перфорант, или истинный перфорант, проходит сквозь мышцу и является «ножкой» для настоящего перфорантного лоскута. Лоскуты на основе прямого кожного перфоранта или кожно-перегородочного перфоранта принято называть по проксимальному сосуду: например, подподбородочный перфорантный лоскут или медиальный подошвенный перфорантный лоскут – т.е. лоскуты, перфорантные сосуды которых отходят от подподбородочной артерии или медиальной подошвенной

артерии, соответственно. Лоскуты же на основе кожно-мышечного перфоранта следует обозначать по названию мышцы, через которую проходит перфорант. В связи с тем, что до сих пор отсутствует единая общепринятая номенклатура для систематизации перфорантных лоскутов, крайне важно отличать прямые кожные перфорантные лоскуты или кожно-перегородочные перфорантные лоскуты от кожно-мышечного перфорантного лоскута, поскольку диссекция первых двух не так сложна, как последнего. Так, переднебоковой лоскут бедра может быть отнесен как к кожно-перегородочному перфорантному лоскуту, так и к кожно-мышечному в зависимости от его варибельной анатомии.

Основное требование к пересаживаемой (трансплантируемой) ткани – это ее биосовместимость и способность выполнять функции воссоздаваемого органа. Применение перфорантных лоскутов удовлетворяет этим требованиям и позволяет уменьшить количество этапов реконструктивно-восстановительных операций, а также травматизацию зоны формирования трансплантата, сохраняя интактными магистральные сосуды в донорском участке. Перфорантные лоскуты могут быть получены из различных донорских зон [Alkhawajī A., 2013]. Преимущественно к ним относятся передняя стенка брюшной полости [Butler D. P. et al., 2018], поясничная [Opsomer D. et al., 2021] и ягодичная области [Godbout E. et al., 2013]. Кроме того, в качестве донорского участка для перфорантного лоскута нередко используют различные области нижних конечностей [Lewis C. J. et al., 2018; Scaglioni M. F., Macek A., 2019; Shahabuddin S. F., Khurram M. F., 2020; Kumbala P. A. et al., 2021]. Использование таких лоскутов становится все более популярным, так как они помогают снизить нежелательные осложнения в донорской зоне. Однако до сих пор остается актуальной проблемой точное предоперационное определение топографо-анатомических особенностей перфорантов, от которых зависит жизнеспособность лоскута. В связи с тем, что диаметр перфорантных сосудов, на которых чаще всего формируются лоскуты, составляет от 1 до 1,5 мм, их идентификация вызывает определенные

сложности на этапе планирования и во время проведения операции [Чередниченко Н. О. и др., 2017]. В настоящее время для визуализации перфорантных сосудов в клинике используют различные методы лучевой диагностики.

### **1.3 Методы визуализации перфорантных сосудов**

Визуализацию перфорантных сосудов осуществляют с помощью следующих методов:

- 1) методы лучевой диагностики:
  - а) ультразвуковое исследование (УЗИ),
  - б) компьютерно-томографическая ангиография (КТА) [Badiul P. O., Sliesarenko S. V., 2015],
  - в) магнитно-резонансная ангиография (МРА) [Park S.-J. et al., 2018];
- 2) метод термографии [Pereira N. et al., 2018];
- 3) метод индоцианиновой зеленой флуоресцентной ангиографии в ближней инфракрасной (ИК) области (ИЦЗФА) [Wu C.-W. et al., 2022].

Среди используемых на практике аппаратов для УЗИ глобально можно выделить две их разновидности: аппарат для портативной акустической доплеровской сонографии (АДС) [Ono S. et al., 2017; Wu C.-W. et al., 2022] и современные аппараты УЗИ с большим разнообразием встроенных режимов исследования.

АДС является простым в эксплуатации, неинвазивным, относительно недорогим, портативным методом, доступным во время операции. Кроме того, при исследованиях с помощью данного подхода отсутствует воздействие ионизирующим излучением [Ono S. et al., 2017]. Однако в ряде работ было показано, что определение перфорантного сосуда с помощью АДС часто приводит к ложноположительным результатам, что неприемлемо при предоперационном планировании перфорантного лоскута [Stekelenburg C. M. et al., 2014; Huang J.-W. et al., 2015; Nanno M. et al., 2017]. Низкая

эффективность метода связана с тем, что доплеровский датчик (8 МГц) способен обнаруживать только те сосуды, которые расположены на расстоянии до 20 мм от поверхности кожи. Таким образом, в случае, когда кожа и подкожная клетчатка пациента достаточно выраженные, визуализировать точное местоположение и ход перфорантного сосуда весьма сложно [Ono S. et al., 2020]. Низкая специфичность обнаружения перфорантного сосуда с помощью АДС обусловлена еще и тем, что данный метод улавливает фоновый шум от близлежащих сосудов. Кроме того, с помощью АДС невозможно получить изображение сосуда, в результате чего исследователь никогда не знает, какие именно сосуды он детектирует. Так, например, может оказаться, что выявленный перфорантный сосуд слишком мал, чтобы обеспечить жизнеспособность кровоснабжаемого им лоскута. В связи со всем вышесказанным можно сделать вывод, что АДС полезна в основном при скрининге как дополнительный инструмент к КТА или МРА [Martínez J. G. et al., 2020].

В современных аппаратах УЗИ есть различные режимы для визуализации кровеносных сосудов и получения необходимой информации о них. В сравнительной работе Kehrer с соавт. (2021) было показано, что наиболее эффективными среди данных режимов для предоперационного картирования перфорантных сосудов являются УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, импульсно-волновой доплер и визуализация в В-flow режиме [Kehrer A. et al., 2021]. При этом, в повседневной клинической практике предпочтение отдается использованию УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием [Shen Y. et al., 2019; Kehrer A. et al., 2021; Schiltz D. et al., 2021].

**УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием** получило широкое распространение, поскольку дает больше визуальной информации о сосудах по сравнению с АДС. УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволяет выявить расположение перфорантного сосуда, его диаметр, а также направление кровотока в нем.

Кроме того, с помощью данного метода можно получить гемодинамическую информацию о перфорантном сосуде. Важно также отметить, что УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием является неинвазивным и достаточно простым в использовании методом визуализации перфорантных сосудов [Ibrahim R. M. et al., 2018]. Однако исследование с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием мало воспроизводимо при динамическом контроле из-за проведения в режиме реального времени, не позволяет хирургам получать трехмерные изображения сосудов всей интересующей анатомической области. Помимо этого, УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием не дает полную картину относительно рядом расположенных костных ориентиров на одном изображении. Таким образом, некоторые исследователи рекомендуют ограничить применение описываемого метода отдельными случаями его использования у пациентов с металлическими имплантатами, аллергией на контрастное вещество или почечной недостаточностью [Ono S. et al., 2017].

Для повышения эффективности УЗИ при предоперационном исследовании перфорантных сосудов было предложено использовать методики **цветового доплеровского и дуплексного сканирования, а также В-flow визуализации с применением контрастного усиления** [Su W. et al., 2013; Heneweer C. et al., 2021]. Введение ультразвуковых контрастных веществ позволяет избежать размытости изображения и появления артефактов, таких как наложение одних объектов на другие. Кроме того, данный подход повышает чувствительность УЗИ к мелким сосудам, что делает возможным картирование перфорантов на супрафасциальном уровне. И наконец, в отличие от КТА предложенный метод может быть использован у пациентов с почечной недостаточностью. Тем не менее, УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием с контрастным усилением не позволяет с высокой точностью оценить ход перфорантного сосуда и место его проникновения в кожу. С помощью метода В-flow визуализации с контрастным усилением невозможно получить трехмерное изображение исследуемой области из-за

необходимости обработки большого объема данных [Heneweer C. et al., 2021; Khoong Y. M. et al., 2021].

В последние годы интерес исследователей вызывает такой подход для выявления перфорантных сосудов, как **УВЧ (ультравысокочастотное) УЗИ** [Visconti G. et al., 2020]. Если для стандартного УЗИ используют датчики 5-20 МГц, то для УВЧ УЗИ могут быть использованы датчики вплоть до 70 МГц [Boczar D. et al., 2019]. УВЧ УЗИ позволяет визуализировать микроанатомические структуры до 30 мкм, предоставляя более подробную информацию о микрососудистых структурах и подкожной анатомии, чем УЗИ. Как следствие, перфорантный сосуд можно проследить до самого проникновения в дерму. УВЧ УЗИ считается весьма перспективным методом для анализа перфорантов при планировании тонкого перфорантного лоскута. Данный метод выступает в качестве дополнения к стандартному УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием. Так, в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута сначала проводят картирование донорского участка с помощью 18-мегагерцового датчика для оценки диаметра перфорантного сосуда и определения точки его выхода из мышечной фасции. Затем выбранный перфорант дополнительно исследуют с помощью датчиков 48 и 70 МГц, чтобы выявить его структуру, в основном разветвленность, на всем протяжении жировой ткани вплоть до дермы, что не всегда можно четко различить при использовании датчика 18 МГц. Однако метод УВЧ УЗИ еще недостаточно подробно изучен и опробован лишь на небольшом количестве клинических случаев. В связи с этим, для подтверждения эффективности этого подхода для предоперационного планирования перфорантного лоскута требуются дальнейшие исследования [Visconti G. et al., 2020; Khoong Y. M. et al., 2021].

**КТА** позволяет выявлять небольшие перфоранты диаметром от 0.3 до 0.5 мм. Многие исследователи отмечают преимущества использования КТА в клинике при предоперационном определении и визуализации перфорантных сосудов [Yang S. F. et al., 2016; Soliman H. H. et al., 2020; Renzulli M. et al.,

2021]. Данный метод позволяет получать подробные трехмерные изображения перфорантных сосудов, определять их расположение, диаметр и направленность относительно других анатомических структур. Помимо этого, КТА обладает высокой способностью оценивать степень и варианты ветвления артериальных сосудов, что облегчает выбор наиболее васкуляризированного лоскута для трансплантации [Renzulli M. et al., 2021]. Также было показано, что предоперационное исследование с помощью КТА может своевременно выявить атипичные венозные связи между глубокими и поверхностными сосудами, что в итоге увеличивает жизнеспособность перфорантного лоскута и, как следствие, приводит к значительному снижению различных осложнений. Кроме того, КТА обладает высокой воспроизводимостью и скоростью анализа. Данный метод предоставляет возможность модифицировать изображения в ходе постобработки в зависимости от целей конкретного исследования. Так, например, можно представить результаты в реконструированной многоплоскостной проекции, проекции максимальной интенсивности и в объемном (3D) виде [Soliman H. H. et al., 2020]. Важно также отметить, что наряду с оптимальным выбором наиболее наглядной реконструкции полученных изображений описываемый метод позволяет варьировать протоколы исследований, подбирая наиболее эффективный для правильной оценки перфорантных сосудов [Renzulli M. et al., 2021]. Тем не менее, у КТА присутствуют такие недостатки, как воздействие ионизирующего излучения и использование потенциально нефротоксичного контрастного вещества [He Y. et al., 2015; Rozen W. M. et al., 2019].

Так, например, в настоящее время КТА является основным методом, используемым на практике в ходе предоперационного планирования нижнего глубокого эпигастрального перфорантного лоскута. Это обусловлено ее доступностью, воспроизводимостью получаемых изображений и независимостью от оператора. Обширные исследования показали, что КТА имеет почти 100 % чувствительность и специфичность в обнаружении данного

вида перфорантных сосудов [Chae M. P. et al., 2015; Ronen G. et al., 2017; Rozen W. M. et al., 2019; Frank K. et al., 2022; Sonda R. et al., 2022].

**МРА** применяется для определения трехмерной анатомии перфорантных сосудов с точностью, близкой к таковой у КТА. При этом, МРА имеет преимущество по сравнению с КТА, так как не использует рентгеновское излучение и проводится без введения йодсодержащего контрастного вещества, что делает ее более безопасным методом исследования для пациентов [Rozen W. M. et al., 2019]. Однако в сравнительных работах группы Rozen с коллегами было показано, что изображения перфорантных сосудов, полученные с помощью МРА, обладают меньшим пространственным разрешением, чем в случае применения КТА [Chae M. P. et al., 2015; Rozen W. M. et al., 2019]. В работе Cina с соавт. (2013) в результате сравнения диагностической эффективности КТА и МРА в ходе планирования нижнего глубокого эпигастрального перфорантного лоскута был сделан вывод, что МРА может быть предложена в качестве альтернативы КТА во избежание радиационного облучения [Cina A. et al., 2013]. Несмотря на это, данные авторов также свидетельствуют о несколько меньшей точности МРА, чем КТА, при определении локализации небольших сосудов и их калибра. Таким образом, на данный момент МРА уступает КТА в эффективности выявления локализации перфорантных сосудов, особенно небольших размеров [Ono S. et al., 2017].

Тем не менее, стоит отметить, что по мнению некоторых авторов МРА обеспечивает более четкую визуализацию внутримышечного хода перфорантного сосуда, в то время как КТА лучше демонстрирует подкожный ход [Chae M. P. et al., 2015]. В сравнительной работе Tian с соавт. (2020) для перфорантного лоскута на поверхностной артерии, огибающей подвздошную кость, было показано, что использование МРА позволяет проводить измерения диаметра данного сосуда с большей точностью по сравнению с УЗИ или КТА [Tian Z. et al., 2020].

Для применения МРА существуют такие противопоказания, как наличие в теле пациента кардиостимуляторов или отдельных разновидностей имплантированных металлических устройств. Помимо этого, МРА имеет ограниченное применение в клинике из-за высокой средней стоимости, чувствительности к артефактам движения и продолжительности обследования [Rozen W. M. et al., 2019].

В последние годы для того, чтобы облегчить и ускорить проецирование данных, полученных как с помощью КТА, так и МРА, на кожу пациента в ходе планирования перфорантного лоскута, разрабатываются все новые подходы. В работе Steenbeek с соавт. (2022) приведен обзор 168 источников, описывающих различные методы визуализации перфорантных сосудов [Steenbeek L. M. et al., 2022]. На основе анализа этих источников авторы выделили 4 подхода для определения локализации перфорантов, которые дополняют информацию, полученную методами КТА или МРА:

- 1) выявление расположения перфорантного сосуда с использованием дополненной реальности;
- 2) выявление расположения перфорантного сосуда с помощью стереотаксической навигационной системы с визуальным наведением;
- 3) выявление расположения перфорантного сосуда с использованием «шаблона»;
- 4) выявление расположения перфорантного сосуда с помощью 3D-печатной анатомической модели.

Метод **навигационной системы с дополненной реальностью** – это новейшая форма визуализации анатомии. Данный подход уже был внедрен в клиническую практику в случаях нейрохирургии, ортопедии, урологии и абдоминальной хирургии и продемонстрировал потенциальную эффективность при выполнении различных операций [Pereira N. et al., 2019; Konoeda H. et al., 2022; Yodrabum N. et al., 2022]. На основе этого метода была разработана медицинская навигационная система, которая позволяет

накладывать трехмерные (3D) модели, построенные на базе КТ-изображений, на изображения поверхности тела в реальном времени, полученные с помощью камеры планшетного персонального компьютера. Система состоит из планшетного персонального компьютера, маркеров в форме пончиков, которые могут быть обнаружены и идентифицированы на КТ, и колпачков маркеров. Существует три вида колпачков для маркеров: в виде черных дисков без отверстия, с одним отверстием или двумя отверстиями наверху. Благодаря данным отверстиям колпачки можно отличить друг от друга по форме. Процедура исследования с помощью такой системы проводится следующим образом:

1. после прикрепления маркеров в форме пончиков, выступающих в качестве реперных точек, к поверхности кожи получают изображения, например, сосудов, с помощью компьютерного томографа;
2. на основе данных КТ-изображений строят 3D-модель кровеносной системы, на которой одновременно видны центральные точки маркеров. Полученная 3D-модель при этом сопровождается системой координат;
3. маркеры в форме пончиков закрывают колпачками и делают снимки исследуемой области кожи с использованием камеры планшетного персонального компьютера. Далее для преобразования системы координат КТ-изображений в систему координат камеры применяют алгоритм декомпозиции сингулярного значения (широко используемый алгоритм в области машинного обучения);
4. накладывают 3D-модель на изображения с камеры.

В результате экспериментально было показано, что данная навигационная система позволяет достичь точности в 1 мм [Mochizuki Y. et al., 2016]. Таким образом, использование системы с дополненной реальностью способно повысить безопасность проведения операции для пациентов за счет определения местонахождения перфорантного сосуда и его точного проецирования на кожу в ходе предоперационного планирования лоскута, а

также вследствие возможности визуализации особенностей строения окружающих тканей [Yodrabum N. et al., 2022]. Помимо этого, навигационная система с дополненной реальностью является простым, не инвазивным методом, позволяющим сократить время проведения операции и улучшить ее результат, тем самым снизив вероятность развития осложнений в донорской области [Pereira N. et al., 2019]. Работы по изучению эффективности определения локализации перфорантного сосуда с помощью данной системы и усовершенствованию ее использования при планировании перфорантного лоскута продолжаются [Konoeda H. et al., 2022; Yodrabum N. et al., 2022].

**Стереотаксические навигационные системы с визуальным наведением** обеспечивают точную корреляцию между анатомическим расположением интересующего объекта в режиме реального времени и изображениями, полученными с использованием КТА или МРА до операции. Предоперационные сканы с реперными маркерами, размещенными на относительно фиксированных участках, таких как костные ориентиры, загружаются в навигационную систему. Используя те же реперные маркеры, навигационная система может регистрировать анатомию пациента и хирургические инструменты в предоперационных объемных данных, обеспечивая навигацию в режиме реального времени по набору полученных изображений. Однако количество опубликованных работ об использовании этих систем в пластической и реконструктивной хирургии до сих пор мало. Кроме того, эта технология подходит для интраоперационной визуализации и навигации перфорантных сосудов без снижения точности определения их локализации по сравнению с КТА, но подготовка системы требует много времени, а само оборудование и его программное обеспечение достаточно дорогостоящие [Steenbeek L. M. et al., 2022].

Наиболее простым методом переноса данных, полученных с помощью КТА или МРА, на тело пациента является использование «шаблона» [Steenbeek L. M. et al., 2022]. Этот подход преимущественно применяется для планирования нижнего глубокого эпигастрального перфорантного лоскута.

Изображения анализируются для выбора перфорантного сосуда, и затем подходящие перфоранты отмечаются на двухмерной сетке коронарной оси на уровне пупка в подкожной плоскости непосредственно перед фасцией прямой мышцы живота. В сетке пробиты отверстия для разметки перфорантных сосудов. Перед операцией сетка с изображением брюшной стенки центрируется на пупке со средней линией в качестве референсной точки, и по ней перфоранты отмечаются на коже [Miranda V. H. et al., 2014]. Погрешность данного метода может составлять от 2,5 до 7 мм [Chae M. P. et al., 2016; Steenbeek L. M. et al., 2022]. Использование «шаблона» позволяет определить не только точку выхода перфорантного сосуда из фасции прямой мышцы живота, но и внутримышечный ход перфоранта [Chae M. P. et al., 2018]. Таким образом, данный метод является достаточно точным и дешевым, однако нанесение точек расположения перфорантных сосудов на сетку и печать «шаблонов» требуют много времени и не дают трехмерного изображения [Steenbeek L. M. et al., 2022].

Применение **3D-печатных анатомических моделей** становится все более популярным в хирургии, так как позволяет облегчить предоперационное планирование сложных процедур. В пластической хирургии использование 3D-печати для картирования перфорантных сосудов было представлено Gillis и Morris в 2014 г. [Gillis J. A., Morris S. F., 2014]. Sotsuka с соавт. (2015) были первыми, кто применил данный метод в реконструктивной хирургии груди. Они напечатали трехмерную модель анатомии перфорантного сосуда пациента в натуральную величину, основываясь на предоперационных изображениях, полученных с помощью КТА. Модель стерилизовали и использовали во время операции для лучшего понимания анатомии сосудов [Sotsuka Y. et al., 2015]. Mehta S. с соавт. (2016) и Jablonka E.M. с соавт. (2019) распечатали 3D-модель брюшной стенки с нижними глубокими эпигастральными сосудами, которая отображала их ход по отношению к прилегающим мягким тканям, и использовали данную модель в качестве обучающего инструмента. До проведения операции она служила

инструментом хирургического планирования, а во время операции – ориентиром для отслеживания внутримышечного хода перфорантных сосудов [Mehta S. et al., 2016; Jablonka E. M. et al., 2019]. В работе Ogunleye с соавт. (2020) описан случай, когда благодаря использованию 3D-модели в ходе проведения сложной микрохирургической реконструкции груди во время операции было выполнено меньше ненужных маневров, что сократило время забора перфорантного лоскута [Ogunleye A. A. et al., 2020].

**Термография** представляет собой простой, недорогой, портативный и доступный метод, в малой степени зависящий от конкретного исследователя, который может быть использован при предоперационном планировании и послеоперационном мониторинге жизнеспособности перфорантного лоскута [Pereira N. et al., 2018]. Для выявления сосудов данным методом отсутствует необходимость введения контрастного вещества или воздействия ионизирующего излучения, в связи с чем у пациентов не возникает побочных реакций. Термографические изображения получают с помощью тепловизионной камеры. Данный подход позволяет обнаружить ИК излучение, испускаемое объектом. При этом, участки кожи с более высокой температурой соответствуют областям с бóльшей локальной васкуляризацией, известным как «горячие точки» [Hennessy O., Potter S. M., 2020]. Однако термография обладает рядом ограничений. Во-первых, данный метод позволяет получать информацию только о расположении перфорантного сосуда, а не о его морфологии и физиологии. Во-вторых, информация предоставляется в виде поверхностной двухмерной картины, в связи с чем крайне важным становится, чтобы хирург обладал глубокими знаниями местной анатомии сосудов и лоскута при интерпретации полученных изображений. Также важно отметить, что описываемый подход обладает ограничениями по глубине исследования [Pereira N. et al., 2018]. Термографическая визуализация зависит от температуры поверхности кожи, на которую влияют структуры, залегающие на глубине примерно до 2 см. Это означает, что перфоранты, оканчивающиеся дальше от поверхности кожи в

подкожных тканях, могут быть не выявлены и, следовательно, могут быть пропущены при планировании лоскута. Еще одно ограничение, связанное с термографической визуализацией, заключается в контроле температурных помех от окружающей кожи. Температура кожи может колебаться в пределах вплоть до 8 °С в зависимости от таких факторов, как одежда, температура в помещении и влажность. Для того, чтобы свести к минимуму эти помехи, при проведении термографического исследования следует закладывать время на адаптацию пациента к постоянной комнатной температуре с последующим охлаждением до заданной температуры. Охлаждение и визуализация во время повторного нагревания позволяют более точно определить горячие точки и улучшить разрешение изображения. Первоначально, такое снижение температуры, способное привести к вазоконстрикции перед взятием лоскута, вызывало сильные опасения. Однако впоследствии было показано, что используемое при термографии мягкое охлаждение в физиологических пределах приводит к реперфузии в течение 5 минут и считается безопасным. И наконец, термография не нашла широкого распространения вследствие ограничений, связанных с доступностью данной технологии. Тем не менее, существует мнение, что это может измениться – термография на базе смартфонов, в частности, обещает стать легкодоступной и недорогой версией метода, однако она потребует регулирования в отношении соблюдения принципов защиты данных [Pereira N. et al., 2018; Hennessy O., Potter S. M., 2020].

При исследовании перфорантных сосудов с помощью **ИЦФА** пациентам внутриартериально вводят индоцианин зеленый, который быстро связывается с белками плазмы. Данное флуоресцентное вещество поглощает свет с длиной волны в диапазоне 700-800 нм и испускает флуоресценцию с длиной волны 840 нм, которую можно обнаружить на глубине 1-2 см под кожей [Khoong Y. M. et al., 2021;

lymph-node/#CR23]. Свет с длиной волны около 800 нм (ближний инфракрасный диапазон) мало поглощается как водой, так и гемоглобином и не рассеивается тканями. Таким образом, флуоресценция индоцианина зеленого занимает «биологическое спектральное окно», позволяющее визуализировать глубинные структуры живого организма. Кроме того, глубина детекции с помощью ИЦЗФА до 2 см от поверхности кожи приблизительно соответствует фасциальному уровню. В связи с этим можно сделать вывод, что данный метод подходит для выявления перфоранта при предоперационном планировании перфорантного лоскута [Li K. et al., 2018]. Высокая точность визуализации перфорантных сосудов методом ИЦЗФА достигается благодаря высокому разрешению (6 миллионов пикселей и 60 кадров в секунду) новой системы видеокамер. Преимущество этой системы связано также с низким фоновым шумом, поскольку в качестве источника возбуждающего света используется светоизлучающий диод. Тем не менее, у метода ИЦЗФА есть некоторые ограничения, связанные с чрезвычайно быстрым выведением индоцианина зеленого с желчью [Van Den Hoven P. et al., 2022]. Период полувыведения данного флуоресцентного красителя из плазмы крови составляет всего 3-4 мин у здоровых взрослых. Сигнал от индоцианина зеленого практически не обнаруживается через 30 мин после его введения. Кроме того, использование индоцианина зеленого противопоказано пациентам с аллергией на йод, поскольку он содержится в данном красителе. Несмотря на то, что сообщений об анафилактических реакциях на индоцианин зеленый было очень мало, его рекомендуется использовать с осторожностью [Li K. et al., 2018]. В настоящее время ИЦЗФА описывается как подход, позволяющий оценить перфузию тканей при планировании перфорантного лоскута для реконструкции груди после мастэктомии [Van Den Hoven P. et al., 2022)]. Одним из наиболее частых осложнений вследствие данной операции является некроз кожи и жира в лоскуте. Интраоперационное использование ИЦЗФА способно помочь хирургам оценить жизнеспособность кожного лоскута, тем самым уменьшив возникновение некроза [Driessen C. et al., 2020;

Lauritzen E., Damsgaard T. E., 2021]. Наиболее жизнеспособный лоскут обладает сниженной перфузией. В связи с этим, при проведении реконструктивной операции хирурги отдают предпочтение участку кожи с уменьшенной интенсивностью флуоресценции, наблюдаемой с помощью ИЦЗФА.

Таким образом, существующие методы визуализации перфорантных сосудов весьма многочисленны. Каждый из них обладает рядом преимуществ и ограничений. Некоторые из этих методов, в частности, УЗИ и МРА, продолжают активно совершенствоваться. Кроме того, наличие большого количества современных исследований, посвященных данной тематике, свидетельствует об актуальности использования перфорантных лоскутов в реконструктивных операциях и о необходимости универсального подхода для предоперационной визуализации сосудов.

#### **1.4 Сравнение эффективности визуализации перфорантных сосудов с помощью ультразвукового исследования с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и компьютерно-томографической ангиографии**

В настоящее время из всех описанных методов визуализации перфорантных сосудов в клинике в основном применяют УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием [Ibrahim R. M. et al., 2018] и КТА [Badiul P. O., Sliesarenko S. V., 2015]. При этом, для предоперационного планирования перфорантных лоскутов предпочитают использовать КТА, поскольку считается, что она обладает бóльшей эффективностью по сравнению с УЗИ [He Y. et al., 2014; Badiul P. O., Sliesarenko S. V., 2015; He Y. et al., 2015; Lee J. W. et al., 2015], что было описано в предыдущем разделе. Однако существуют немногочисленные работы, свидетельствующие о том, что в некоторых случаях исследование перфорантных сосудов методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволяет получить более подробную информацию, чем КТА [Feng S. et al., 2016; Soliman H. H. et

al., 2020]. Так, Soliman с соавт. (2020) показали, что диаметр перфорантного сосуда, рассчитанный с помощью КТА, отличается от истинного, измеренного в ходе операции [Soliman H. N. et al., 2020]. Авторы объясняют это тем, что КТА визуализирует лишь внутренний просвет сосуда, тогда как в измерение диаметра выделенного при операции сосуда входят его стенка и зачастую окружающая адвентиция. Кроме того, Feng с соавт. (2016) продемонстрировали, что КТА не следует использовать для выявления перфорантных сосудов в нижних конечностях. Для данных целей больше подходит метод УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, позволяя с большей точностью определять их локализацию, размер и направленность [Feng S. et al., 2016]. Данная особенность связана с анатомическим строением нижних конечностей, а именно, с их относительно тонкой подкожно-жировой клетчаткой. Разрешение получаемого с помощью КТА изображения зависит от различия между плотностью контрастированного перфорантного сосуда и жировой ткани. В тех областях, где слой жировой ткани более толстый, например, в брюшной полости, КТА позволяет получить четкое детализированное изображение перфорантного сосуда и, соответственно, точно определить расположение его внутримышечного или подкожного участков. Однако в зонах с менее выраженной жировой тканью эффективность КТА снижается, в результате чего изображение получается менее детализированным в отличие от такового, снятого методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием. Аналогичные результаты были получены в ходе наших исследований по сравнению эффективности УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА для выявления перфорантных сосудов нижних конечностей в ходе предоперационного планирования реконструктивных операций у 85 пациентов [Трефилов А. А. и др., 2021].

Таким образом, выбор наиболее эффективного метода визуализации перфорантных сосудов в ходе предоперационного планирования лоскутов во многом зависит от анатомических особенностей донорского участка. В случае

нижних конечностей некоторые авторы демонстрируют преимущество использования УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием по сравнению с КТА. Однако данные исследования единичны и требуют проведения дальнейшего детального сравнительного анализа эффективности двух методов лучевой диагностики на большой выборке пациентов.

### **1.5 Перспективы направления исследования**

Анализ отечественных и зарубежных работ, приведенный в данном обзоре, свидетельствует об актуальности использования перфорантных лоскутов в реконструктивной микрохирургии. Описано большое количество методов, позволяющих визуализировать перфорантные сосуды, их диаметр и направление в ходе предоперационного планирования лоскута, что существенно облегчает и ускоряет проведение хирургических манипуляций, а также снижает риск развития осложнений. При этом стоит отметить, что имеющиеся подходы продолжают совершенствоваться. Так, ведутся исследования по увеличению эффективности наиболее часто используемых в медицинской практике методов, а именно – УЗИ и КТА. Кроме того, появляются данные о целесообразности выбора одного из этих подходов в зависимости от локализации донорской области.

В дальнейшем перспективной темой для исследований представляется разработка универсального алгоритма предоперационного планирования перфорантных лоскутов, включающего использование наиболее эффективного и безопасного метода для визуализации перфорантных сосудов из различных донорских областей. Данная диссертационная работа посвящена созданию одной из ветвей такого алгоритма. Результаты диссертационного исследования опубликованы в виде статей, входящих в российские базы данных. В публикациях описаны данные, полученные благодаря детальному сравнительному анализу возможностей двух методов лучевой диагностики – УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА – в ходе предоперационного планирования перфорантных лоскутов нижних

конечностей [Трефилов А. А. и др., 2021]. Впервые был описан случай планирования перфорантного лоскута и костного аутотрансплантата у пациентки с особенностями строения кровеносной системы нижних конечностей [Трефилов А. А. и др., 2021].

## **ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Работа выполнена на базе ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н. Н. Бурденко» Министерства обороны РФ.

В основу исследования положены результаты клинико-лучевого обследования и интраоперационного контроля 103 пациентов с дефектами костных структур и мягких тканей челюстно-лицевой области, находившихся на стационарном лечении в ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н. Н. Бурденко» Министерства обороны РФ, в период с 2017 по 2022 годы.

Критерии включения пациентов в исследование:

- возраст от 18 до 70 лет;
- наличие дефекта челюстно-лицевой области с необходимостью проведения реконструктивной операции;
- наличие ранее проведенных хирургических вмешательств.

Критерии исключения пациентов из исследования:

- общее тяжелое соматическое состояние пациента;
- противопоказания к проведению микрохирургических операций;
- ранее проведенные операции по забору перфорантных лоскутов нижних конечностей.

В зависимости от размеров и характера дефектов в челюстно-лицевой области пациентов и, соответственно, различия в объеме забираемого донорского материала были выделены 2 подгруппы планируемых реконструктивных операций: с использованием реваскуляризованного малоберцового аутотрансплантата (РМА) и без него. Данное разделение обоснованно, так как для одномоментного замещения дефекта костных структур и мягких тканей реципиентной области, а также минимизации травматичности донорской области целесообразно использование РМА и

перфорантных лоскутов с одной конечности.

Выбор донорского участка для формирования мягкотканного аутотрансплантата на правой или левой нижней конечности делался на основании данных, полученных в ходе исследований обоими методами лучевой диагностики (УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА), и был связан с наличием/отсутствием извитости и максимальной величиной диаметра просвета перфорантного сосуда. Для проведения реконструктивных операций использовали перфоранты с диаметром просвета более 1 мм.

## 2.1 Выборка клинического материала

В исследование были включены 103 пациента, мужчин (n=91) и женщин (n=12), с дефектами мягких тканей и костных структур челюстно-лицевой области в возрасте от 19 до 68 лет. Средний возраст составил 44 года (табл. 1).

Таблица 1

### Распределение пациентов по возрасту

Возраст (лет)	Количество пациентов			
	Группа без РМА		Группа с РМА	
	Абс. (%)		Абс. (%)	
	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
19-30	14 (13,6)	0 (0)	1 (0,97)	0 (0)
31-40	18 (17,5)	3 (2,9)	3 (2,9)	0 (0)
41-50	15 (14,6)	2 (1,94)	3 (2,9)	1 (0,97)
51-60	22 (21,4)	4 (3,9)	7 (6,8)	2 (1,94)
61-68	6 (5,8)	0 (0)	2 (1,94)	0 (0)
<b>Итого в группе</b>	<b>84 (81,6)</b>		<b>19 (18,4)</b>	
<b>Всего</b>	<b>103 (100)</b>			

В подгруппу без РМА вошли 84 пациента (из них 75 мужчин и 9 женщин), в подгруппу с РМА – 19 пациентов (16 мужчин и 3 женщины) (рис. 1).

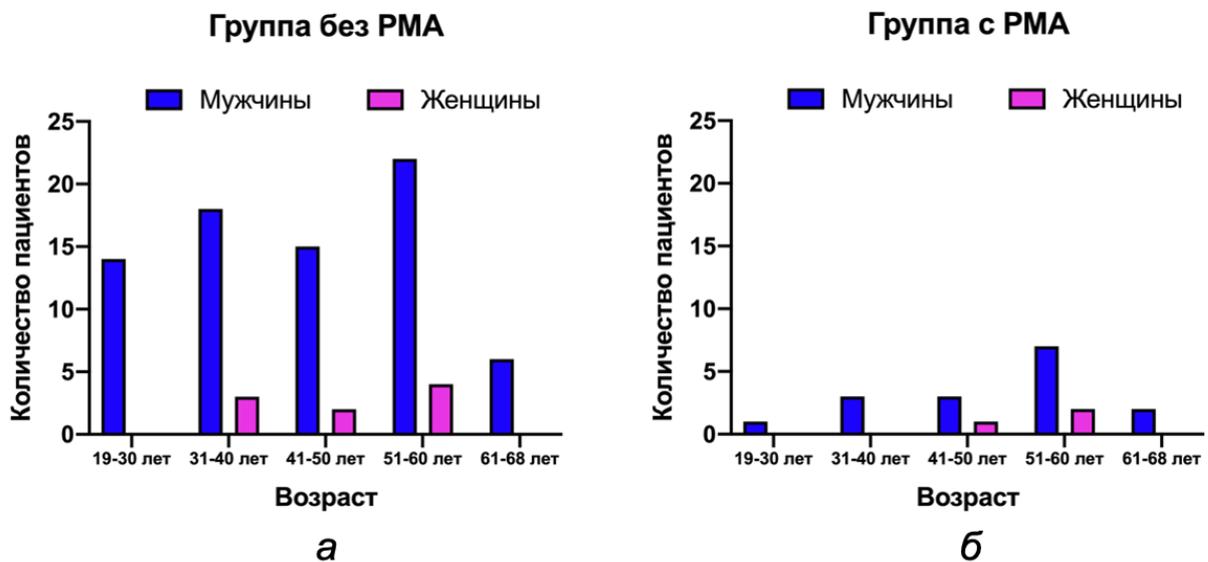


Рис. 1. Гистограммы распределения пациентов по возрасту и полу: *а* – в группе с реваскуляризированным малоберцовым аутотрансплантатом; *б* – в группе без реваскуляризированного малоберцового аутотрансплантата

Таким образом, в большинстве случаев за реконструктивной операцией челюстно-лицевой области обращались пациенты с дефектами мягких тканей, которым требовалась трансплантация только перфорантного лоскута. При этом, количество мужчин было в среднем в 7 раз выше, чем женщин.

Причинами дефектов были:  $n=49$  (47,6 %) – травматические повреждения и связанные с ними операции (если таковые выполнялись),  $n=54$  (52,4 %) – новообразования и связанные с ними химиолучевая терапия или хирургическое вмешательство (если таковые проводились) (табл. 2).

Сроки, в которые пациенты обращались в стационар госпиталя, представлены в таблицах 3 и 4.

Таким образом, анализ этих таблиц показал, что в наше учреждение пациенты преимущественно обращались за реконструкцией челюстно-лицевых дефектов в течение 1-4 недель и более года с момента их возникновения в случае различных ранений и последующих этапов

госпитализации. При устранении дефектов, вызванных новообразованиями и их лечением, время обращения за медицинской помощью составляло более 6 месяцев.

Таблица 2

**Распределение пациентов, обратившихся за лечением, в зависимости от этиологии дефектов челюстно-лицевой области**

Причина дефекта	Количество пациентов	
	Группа без РМА	Группа с РМА
	Абс. (%)	Абс. (%)
Травматическое воздействие	20 (19,4)	1 (0,97)
Операция вследствие травмы	26 (25,2)	2 (1,9)
Новообразование с последующей химиолучевой терапией	5 (4,85)	11 (10,6)
Новообразование с последующим хирургическим вмешательством	33 (32,05)	5 (4,87)
<i>Итого в группе</i>	<i>84 (81,6)</i>	<i>19 (18,4)</i>
<b>Всего</b>	<b>103 (100)</b>	

Таблица 3

**Распределение пациентов в зависимости от времени, прошедшего с момента развития дефекта, вызванного травматическим воздействием и связанным с ним лечением, до проведения реконструктивной операции**

Время от момента развития дефекта до реконструктивной операции	Количество пациентов	
	Группа без РМА	Группа с РМА
	Абс. (%)	Абс. (%)
менее 1 недели	6 (12,2)	0 (0)
1-4 недели	12 (24,5)	0 (0)
1-6 месяцев	8 (16,3)	2 (4,1)
6-12 месяцев	6 (12,2)	1 (2)
Более 1 года	14 (28,6)	0 (0)
<b>Итого в группе</b>	<b>46 (93,9)</b>	<b>3 (6,1)</b>
<b>Всего</b>	<b>49 (100)</b>	

Таблица 4

**Распределение пациентов в зависимости от времени, прошедшего с момента развития дефекта, вызванного новообразованием и связанным с ним лечением, до проведения реконструктивной операции**

Время от момента развития дефекта до реконструктивной операции	Количество пациентов	
	Группа без РМА	Группа с РМА
	Абс. (%)	Абс. (%)
1-6 месяцев	5 (9,3)	1 (1,9)
6-12 месяцев	12 (22,2)	5 (9,3)
Более 1 года	21 (38,9)	10 (18,5)
<b>Итого в группе</b>	<b>38 (70,4)</b>	<b>16 (29,6)</b>
<b>Всего</b>	<b>54 (100)</b>	

## 2.2 Методы обследования пациентов

### *Клиническое обследование*

Всем пациентам при поступлении в стационар госпиталя проводилось полное клиническое обследование – клинический осмотр и сбор анамнеза. Клинико-лабораторная диагностика включала в себя стандартные

исследования, необходимые для проведения хирургического вмешательства в условиях стационара: определение группы крови и резус-фактора, биохимический и клинический анализы крови, развернутая коагулограмма, исследование крови на наличие антител к ВИЧ, RW (реакция Вассермана), гепатитам В и С, клинический анализ мочи, электрокардиография.

Кроме того, перед реконструктивной операцией всем пациентам проводили стандартное исследование сосудов нижних конечностей с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием для исключения наличия тромбов в поверхностных или глубоких венах ног.

### ***Обследование с использованием методов лучевой диагностики***

В ходе выполнения работы на этапе предоперационного планирования были проведены исследования с использованием УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА (n=103). Полученные данные были проанализированы и сопоставлены с результатами операционного вмешательства.

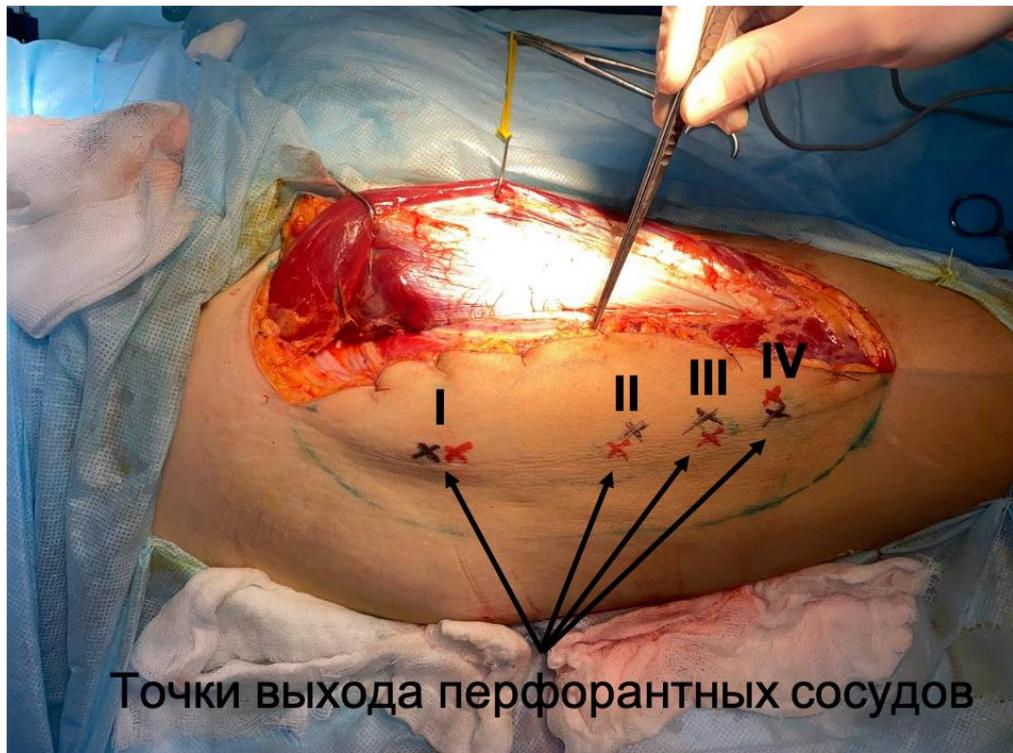
Для сравнения чувствительности двух методов лучевой диагностики при определении точки выхода перфорантных сосудов из фасции исследуемые случаи были разделены на группы. Такая дифференциация осуществлялась исходя из расстояний между точкой выхода сосуда, выявленной с помощью УЗИ или КТА, и таковой, установленной в ходе операции. Ниже представлены данные группы с указанием погрешности измерения (вне зависимости от конкретного донорского участка):

- 1) с погрешностью 0-5 мм;
- 2) 5-10 мм;
- 3) >10 мм;

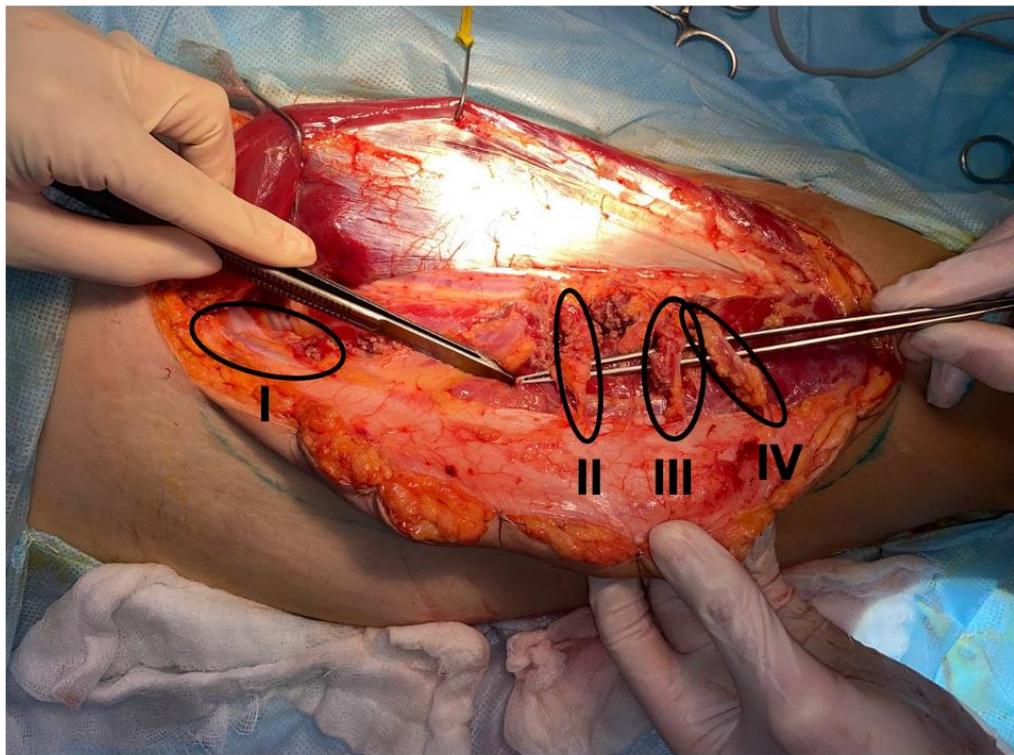
4) группа, в которой собраны случаи, когда перфорантный сосуд не удалось визуализировать с помощью хотя бы одного из методов лучевой диагностики.

***Выявление перфорантного сосуда нижней конечности с помощью ультразвукового исследования с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием***

УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием проводили на аппарате Philips EPIQ 5 (Philips, Нидерланды) с использованием линейного датчика частотой 12 МГц. Проекцию точки выхода перфорантного сосуда отмечали на коже с помощью маркера с толщиной грифеля, не превышающей 3 мм (рис. 2, а). В дальнейшем точность определения точки выхода перфорантного сосуда верифицировали во время операции. Все ультразвуковые доплеровские исследования проводили в одном учреждении, одним врачом ультразвуковой диагностики.



а



б

Рис. 2. Фотографии определения точек выхода перфорантных сосудов из фасции: *а* – предоперационное планирование переднебокового лоскута бедра, черным маркером в виде крестов отмечены точки выхода перфорантов, выявленные с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, красным маркером в виде крестов отмечены точки выхода перфорантов, выявленные с помощью КТА; *б* – непосредственная визуализация тех же перфорантных сосудов во время проведения операции

***Выявление перфорантного сосуда нижней конечности с помощью компьютерно-томографической ангиографии***

КТА проводили на аппарате GE Optima CT660 (General Electric, USA), протокол исследования представлен в таблице 5. Обследование пациентов выполняли в положении на спине (ногами вперед), аналогичном таковому во время проведения последующей операции.

*Таблица 5*

**Параметры сканирования при КТА**

Шаг спирального детектора	1,0
Толщина среза	1,25 мм (реконструкция – 0,625 мм)
Скорость вращения гентри	0,37 с
Напряжение трубки	100 кВ
Сила тока трубки	Автоматическая модуляция
Контрастное вещество	Ультравист 370 мг йода/мл
Скорость введения контрастного вещества	Максимально 3,5 мл/с

Внутривенное болюсное контрастирование проводили с использованием инъекционной системы (автоматический двухколбовый инжектор, фирма Medrad) через венозный катетер, установленный в локтевую вену. При этом использовали периферические кубитальные катетеры с диаметром 18-20G (зеленый или розовый), выдерживающие скорость введения контрастного вещества, необходимую для болюсного контрастирования. Всем пациентам вводили минимально необходимое количество контрастного вещества – 1-1,5 мл/кг массы тела в концентрации до 400 мг/мл йода (табл. 5), максимально вводимый объем контрастного вещества не превышал 100 мл. Дополнительно выполняли болюсное введение 50 мл физиологического раствора со скоростью 3,5 мл/с. В ходе исследования использовали методику отслеживания болюса контрастного вещества (bolus tracking). При достижении

заданной плотности контрастирования (порогового уровня контрастирования 130 HU на брюшном отделе аорты) через 10 секунд автоматически запускалась артериальная фаза сканирования.

При выполнении исследования с болюсным введением контрастного препарата использовали стандартный протокол со сканированием в артериальную и венозную фазы.

Согласно клиническим рекомендациям по хроническим болезням почек пациентам с риском развития контраст-индуцированной нефропатии и скоростью клубочковой фильтрации (СКФ)  $\leq 45$  мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> до и после выполнения КТА проводили гидратацию (двое пациентов из 103 были с хронической почечной недостаточностью) [Гомболевский В. А. и др., 2018].

Оценку полученных КТА изображений проводили на рабочей станции фирмы General Electric «Advantage workstation version 4.6» в трех стандартных (аксиальной, сагиттальной, фронтальной) и различных косых плоскостях с построением мультипланарных реконструкций (MPR – multiplanar reconstruction), мультипланарных реконструкций в проекциях максимальной интенсивности (MIP – maximum intensity projection) и криволинейных реконструкций, построенных по оси выбранного сосуда (CPR – curved planar reformation). Для наглядного представления индивидуальной анатомии строения сосудов и их расположения относительно костных ориентиров выполняли построение объемных изображений (VR – «volume rendering») с помощью стандартного набора инструментов постобработки изображений формата DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine).

Установленные методом КТА места расположения перфорантных сосудов были отмечены на коже пациента с помощью маркера (рис. 2, а).

Все КТА исследования проводили в одном учреждении, на одном аппарате. Оценку полученных изображений осуществлял один врач-рентгенолог.

### ***Хирургическое иссечение перфорантного лоскута нижней конечности с перфорантным сосудом***

Все операции по выделению перфорантных сосудов нижних конечностей проводила одна бригада хирургов. При иссечении всех мягкотканых лоскутов были оценены количество, расположение, диаметр просвета и ход перфорантов. Вышеуказанные параметры были сопоставлены с предоперационными результатами, полученными с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА. Для сопоставления точки выхода перфорантного сосуда, выявленной при проведении операции, и таковой, отмеченной по данным УЗИ или КТА, использовали кронциркуль (рис. 3).

Было измерено и записано расстояние в миллиметрах между точками, поставленными по данным обоих методов лучевой диагностики, и истинным анатомическим расположением перфорантных сосудов, обнаруженным во время операции (рис. 4).

### ***Статистическая обработка данных***

Построение диаграмм и гистограмм с распределением пациентов по возрасту и полу осуществляли в программе Microsoft Office Excel 2019.

Обработку данных, полученных в ходе исследований, проводили с использованием  $\chi^2$ -критерия (критерия согласия Пирсона) в программе GraphPad Prism 9. Значения  $p < 0.05$  считали статистически значимыми.

Таким образом, была усовершенствована методология сравнительного анализа точности определения точки выхода перфорантного сосуда нижней конечности из фасции с помощью двух методов лучевой диагностики (УЗИ и КТА) по отношению к таковой, выявленной в ходе проведения операции.



а



б

Рис. 3. Фотографии сопоставления точки выхода перфорантного сосуда переднебоковой поверхности бедра из фасции, выявленной интраоперационно, и таковой, установленной перед проведением операции одним из методов лучевой диагностики, с помощью кронциркуля: а – расположение одной ножки кронциркуля в точке выхода перфоранта, определенной во время проведения операции; б – проецирование точки выхода перфорантного сосуда на поверхности кожи с помощью второй ножки кронциркуля

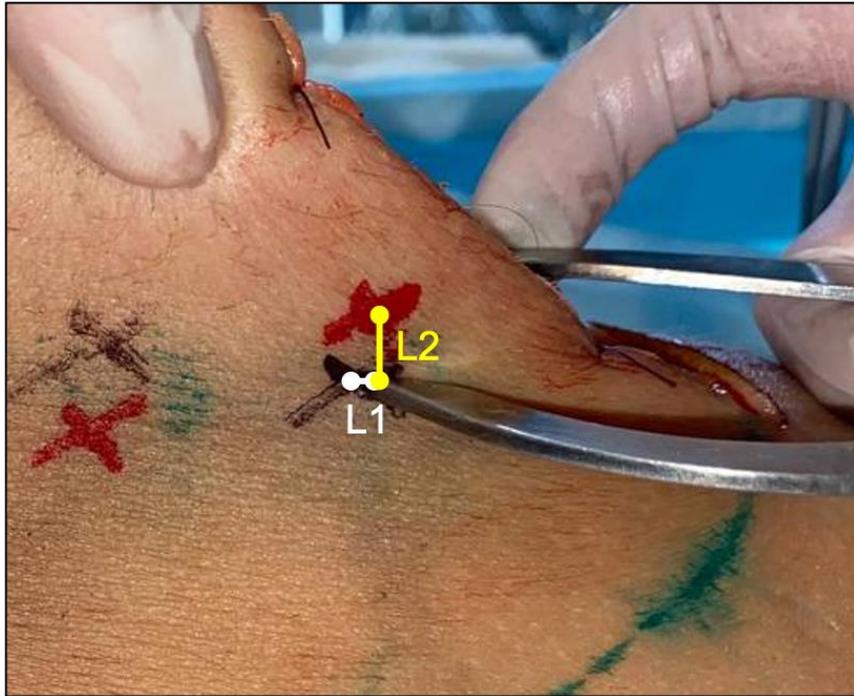


Рис. 4. Измерение расстояния между истинной точкой выхода перфорантного сосуда из поверхностного листка глубокой фасции, определенной во время проведения операции и отмеченной ножкой кронциркуля, и точками выхода перфоранта, установленными предоперационно с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием (L1) и КТА (L2)

### **ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Возможность выявления перфорантных сосудов, а также точность определения точки выхода сосудов из фасции с использованием УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием или КТА оценивались в ходе сравнительного анализа исследований 103 пациентов. Для каждого случая описывались такие параметры, как:

1. положительный/отрицательный результат визуализации подходящих перфорантов (с диаметром от 1,0 до 1,5 мм) в области планирования лоскута;
2. количество обнаруженных в данной области перфорантных сосудов;
3. ход перфорантных сосудов;
4. отклонение точки выхода перфорантного сосуда из фасции, установленной с помощью одного из методов лучевой диагностики, от таковой, выявленной интраоперационно – чувствительность метода (рис. 4). За пороговое значение предела точности было взято расстояние 5 мм, так как такая погрешность не оказывает существенного влияния при планировании перфорантного лоскута. Значения, превышающие пороговое, но находящиеся в пределах 10 мм, были оценены отдельно как допустимые при планировании трансплантата.

Полученные результаты были сравнены между собой и статистически обработаны.

#### **3.1 Исследование перфорантных сосудов в группе пациентов без использования реваскуляризированного малоберцового ауто трансплантата**

В подавляющем большинстве случаев (n=81) для реконструктивной операции использовали переднебоковой лоскут бедра (ALT – Anterolateral

Thigh Perforator Flaps), который наиболее часто применяется в рутинной клинической практике при устранении дефектов мягких тканей.

К перфорантным лоскутам голени (n=3) прибегали в двух случаях. Во-первых, когда у пациентов была повреждена переднебоковая поверхность бедра вследствие непосредственно травматического воздействия (n=1) или ятрогенных манипуляций (инъекций различных лекарственных средств, в частности, гепарин-содержащих антикоагулянтов, вызывающих появление гематом и отеков мягких тканей) (n=1). Во-вторых, при устранении дефектов мягкой тканей челюстно-лицевой области в качестве донорского участка использовали голень в том случае, когда площадь перфорантного лоскута не должна была превышать 35 см<sup>2</sup> (n=1). Таким образом минимизировали травматизацию нижней конечности.

В среднем перфорантные лоскуты переднебоковой поверхности бедра размером от 35 до 120 см<sup>2</sup> выделялись на основе одного перфорантного сосуда (рис. 5). Количество перфорантных сосудов для лоскутов бóльшего размера варьировалось от одного до четырех (рис. 2; 19, б).

На первом этапе экспериментальных исследований была проанализирована возможность визуализации перфорантных сосудов с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием или КТА. Для этого пациентам (n=84) были выполнены обследования с использованием данных методов лучевой диагностики, результаты которых были сравнены с интраоперационными.

Было показано, что как УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, так и КТА позволяют выявить перфорантные сосуды нижних конечностей (в области переднебоковой поверхности бедра и задней поверхности голени) с диаметром просвета от 1,0 до 1,5 мм (рис. 5).

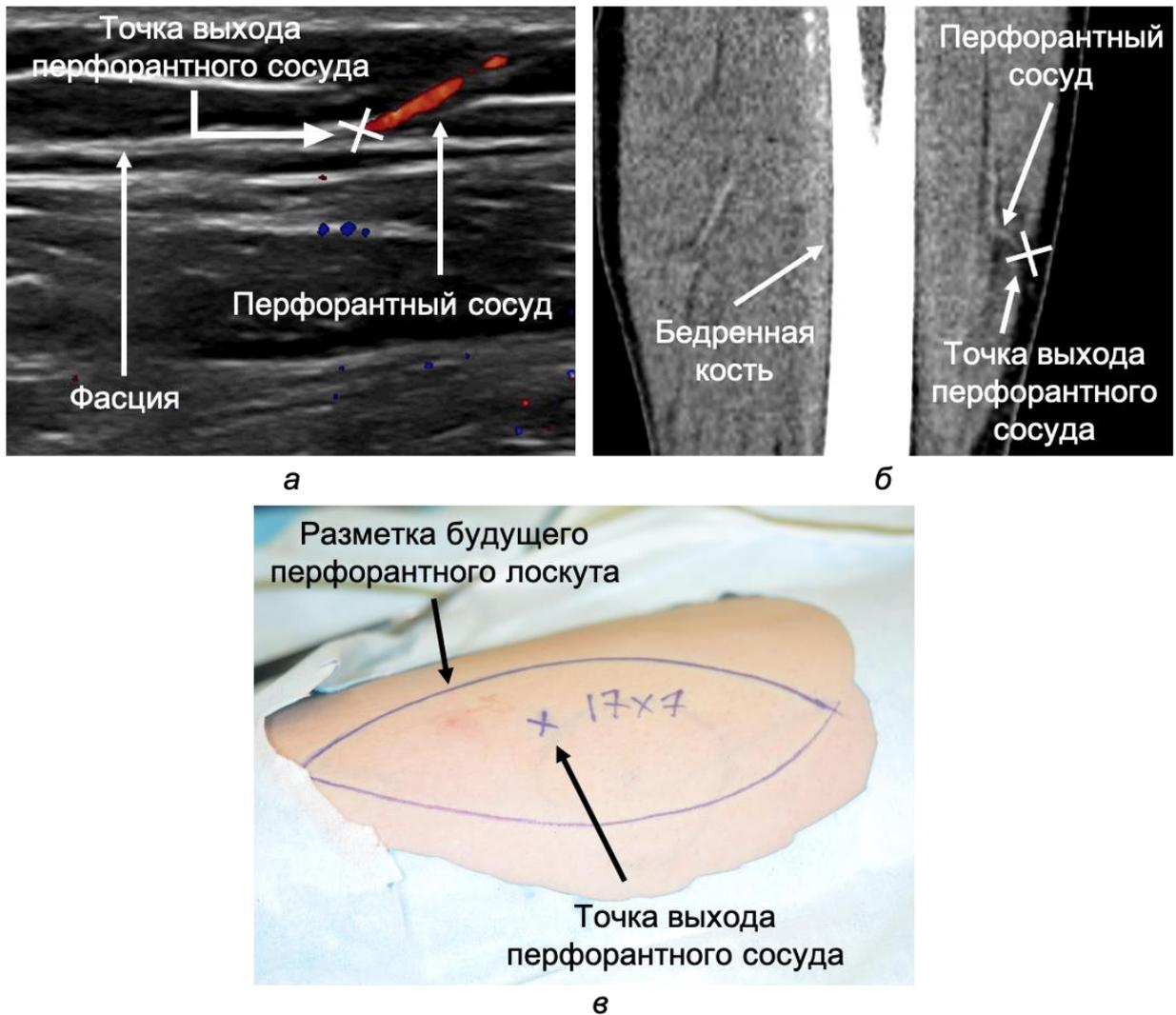


Рис. 5. Предоперационное планирование переднебокового лоскута левого бедра у пациента М.: *а* – эхограмма демонстрирует перфорантный сосуд и точку его выхода из фасции; *б* – КТА-изображение того же перфорантного сосуда и точки его выхода из фасции; *в* – данная точка отмечена на коже пациента маркером и относительно нее намечены границы перфорантного лоскута размером 17 см × 7 см

Однако при сопоставлении данных, полученных с помощью используемых методов лучевой диагностики и интраоперационных, было обнаружено, что в выбранной донорской области УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволило идентифицировать перфорантные сосуды у всех пациентов вне зависимости от локализации донорской области (84/84 – 100 %), а КТА – у 70 из 81 пациента (86,4 %) в случае переднебокового лоскута бедра и у 2 из 3 пациентов (66,7 %) в случае перфорантного лоскута голени (рис. 6). Последующая обработка результатов установила, что выявленная разница в возможности визуализации

перфорантных сосудов бедра и голени между УЗИ и КТА (84/84 и 72/84, соответственно) является статистически значимой ( $p < 0.05$ ,  $\chi^2$ -критерий).

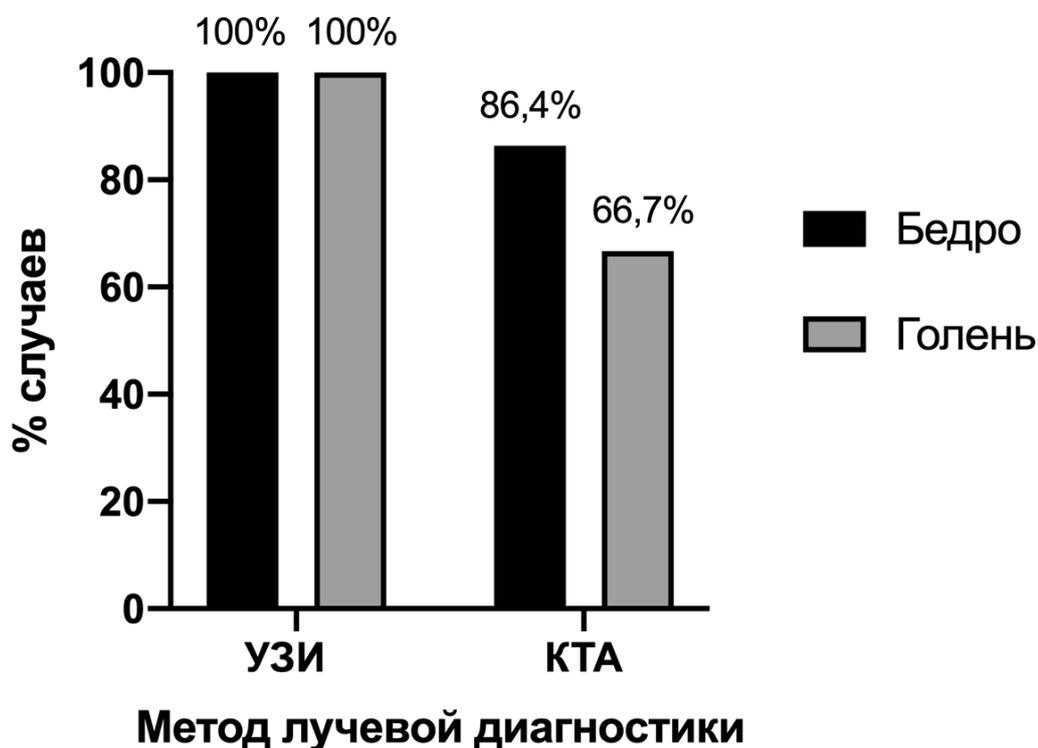


Рис. 6. Гистограмма сравнения частоты выявления перфорантных сосудов двумя методами лучевой диагностики при предоперационном планировании лоскутов на двух донорских участках – переднебоковой области бедра и задней поверхности голени

В ходе работы было также обнаружено, что количество перфорантных сосудов в области переднебоковой поверхности бедра может варьировать в зависимости от конкретного пациента. Так, в 79 % ( $n=64$ ) случаев в ходе предоперационного планирования перфорантных лоскутов с последующей интраоперационной верификацией были выявлены 1-2 сосуда (рис. 5; 7; 19), а в 21 % ( $n=17$ ) их число достигало 4 (рис. 2; 8). Данная информация может быть полезна для микрохирургов при необходимости формирования геометрически и анатомически сложных лоскутов.



Рис. 7. КТА пациента Н. с одним перфорантным сосудом, выявленным в переднебоковой поверхности правого бедра, кософронтальный срез на фоне внутривенного контрастного усиления, мягкотканый режим

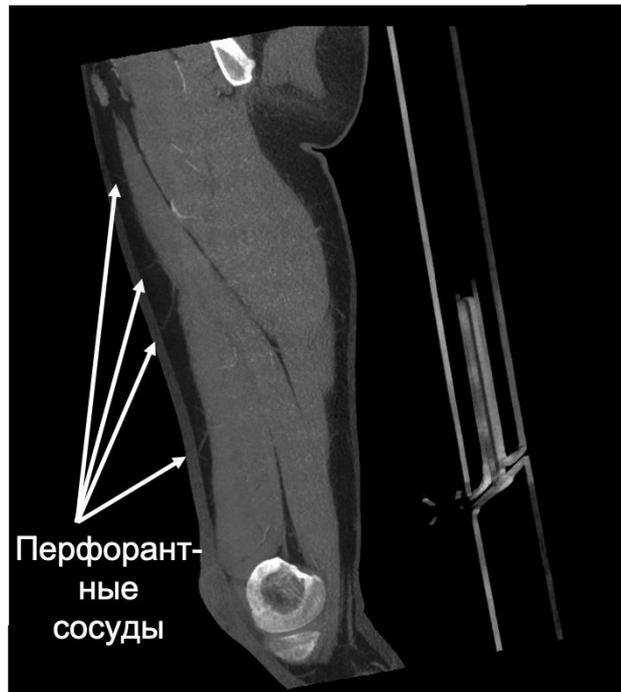
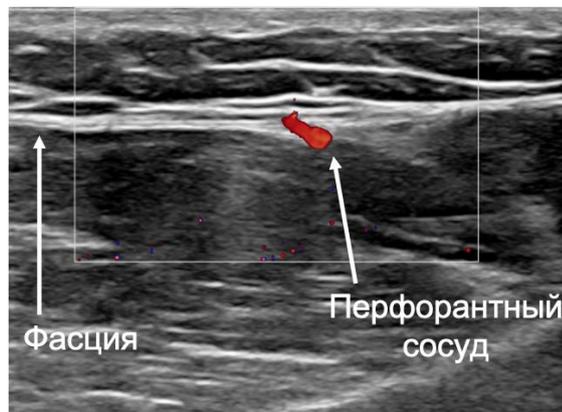


Рис. 8. КТА пациента Р. с 4 перфорантными сосудами, выявленными в переднебоковой поверхности правого бедра, кососагиттальный срез на уровне на фоне внутривенного контрастного усиления, мягкотканый режим, МIP

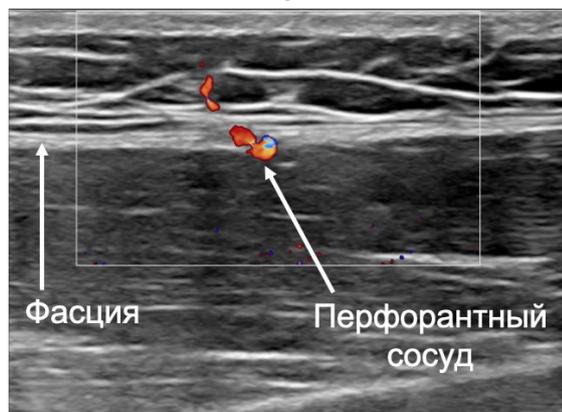
С использованием двух методов лучевой диагностики был изучен ход перфорантных сосудов. УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволило проследить за ним до поверхностного листка глубокой фасции у 100 % пациентов (n=84) (рис. 9, а; 10; 11), внутри фасции – у 76,2 % (n=64) (рис. 9, б; 11; 12) и после ее прободения – у 100 % (n=84) больных (рис. 5, а; 9, в).



а



б



в

Рис. 9. Эхограммы пациента К., позволяющие проследить за ходом перфорантного сосуда переднебоковой поверхности правого бедра: а – до фасции; б – внутри фасции; в – прохождение через фасцию



Рис. 10. Эхограмма пациента Х.: определяется перфорантный сосуд переднебоковой поверхности бедра, направляющийся к поверхностному листку глубокой фасции



Рис. 11. Эхограмма пациента Л.: определяется ход перфорантного сосуда переднебоковой поверхности бедра, идущего к поверхностному листку глубокой фасции и проходящего через него



Рис. 12. Эхограмма пациента Ш.: определяется перфорантный сосуд переднебоковой поверхности бедра, проходящий через фасцию

Исследование с помощью КТА показало следующие результаты: ход перфорантных сосудов до поверхностного листка глубокой фасции был прослежен в 92,9 % (n=78) выявленных случаев (рис.5, б; 13–15), а после ее прободения – в 96,4 % (n=81) (рис. 7; 8; 15).



Рис. 13. КТА пациента Р.: выявлен ход перфорантного сосуда переднебоковой поверхности правого бедра до его прохождения через поверхностный листок глубокой фасции, аксиальный срез на уровне перфорантного сосуда на фоне внутривенного контрастного усиления, мягкотканый режим. Вставка демонстрирует увеличенное изображение перфорантного сосуда (указан стрелкой)



Рис. 14. КТА пациента Н.: выявлен ход перфорантного сосуда переднебоковой поверхности правого бедра до его прохождения через поверхностный листок глубокой фасции и при прохождении через него, кососагиттальный срез на фоне внутривенного контрастного усиления, мягкотканый режим



Рис. 15. КТА пациента Т.: ход перфорантного сосуда переднебоковой поверхности правого бедра до и после прохождения им поверхностного листка глубокой фасции, кососагиттальный срез на фоне внутривенного контрастного усиления, мягкотканый режим, MIP

Выявленные перфорантные сосуды, как правило, имели достаточно ровный ход с относительно плавными изгибами в местах входа и выхода из фасции. Лишь в 8,3 % (n=7) случаев были визуализированы сильно извитые перфоранты (рис. 16).

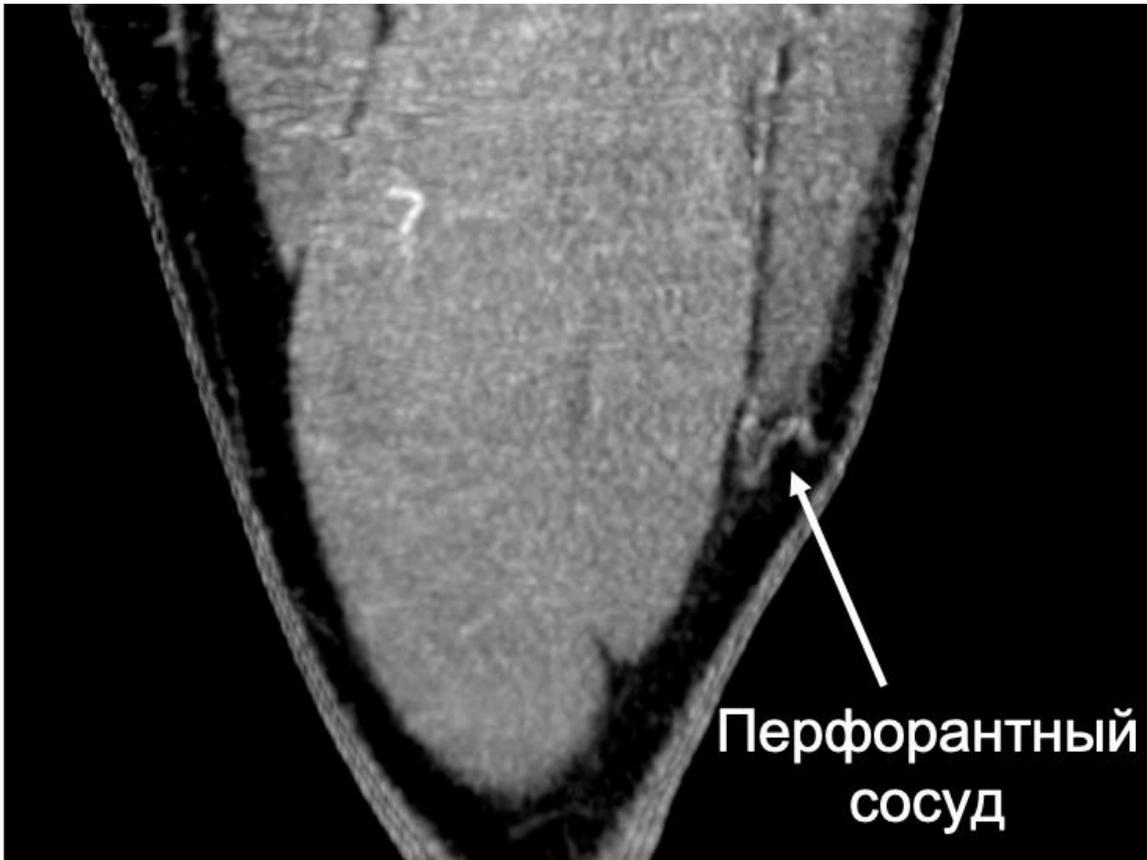


Рис. 16. КТА пациента М.: определяется перфорантный сосуд переднебоковой поверхности левого бедра, имеющий извитой ход, кососагиттальный срез на фоне внутривенного контрастного усиления, мягкотканый режим

Кроме того, у 2,4 % (n=2) пациентов с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием было обнаружено ветвление перфорантных сосудов после прохождения ими поверхностного листка глубокой фасции (рис. 17).



Рис. 17. Эхограмма пациента С.: выявлено раздвоение перфорантного сосуда переднебоковой поверхности левого бедра после выхода из поверхностного листка глубокой фасции

Таким образом, результаты первого этапа исследований показали, что оба используемых метода лучевой диагностики позволяют выявлять перфорантные сосуды нижних конечностей, имеющие подходящий для планирования лоскута диаметр более 1 мм. При этом, удастся оценить их ход и количество в зоне интереса. Однако УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием демонстрирует достоверно бóльшую частоту положительных случаев визуализации сосудов по сравнению с КТА. Кроме того, для наглядной визуализации хода перфорантного сосуда при КТА необходимо использование дополнительных инструментов постобработки изображений, таких как построение мультипланарных реконструкций в проекциях максимальной интенсивности (рис. 8; 15) и криволинейных реконструкций, полученных по оси выбранного сосуда.

На втором этапе экспериментальных исследований был проведен сравнительный анализ чувствительности двух методов лучевой диагностики

при определении анатомической локализации перфорантных сосудов, а именно – точки их выхода из фасции.

Все случаи были разделены на 4 группы. Погрешность определения точки выхода перфорантного сосуда 0-5 мм (группа 1) считали незначительной, отклонение в 5-10 мм (группа 2) принимали допустимым, а более 10 мм (группа 3) – не удовлетворяющим требованиям предоперационного планирования перфорантного лоскута. В 4-ую группу вошли пациенты, у которых перфорантные сосуды не были визуализированы.

В результате было установлено, что при исследовании перфорантных сосудов с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием погрешность в 0-5 мм была допущена у 74 из 84 (88 %) пациентов, а при КТА – у 42 из 84 (50 %) (рис. 18). Отклонение в 5-10 мм наблюдалось у 10 больных (12 %) при использовании УЗИ и у 24 (28,6 %) – при КТА. Случаи, когда в ходе обследования с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием погрешность в точности определения точки выхода перфорантного сосуда из фасции не удовлетворяла требованиям (>10 мм) или сосуды не были обнаружены, отсутствовали. Результаты исследований с использованием КТА показали, что отклонение от реальной точки выхода перфоранта в более, чем 10 мм, было выявлено у 6 пациентов из 84 (7,1 %), а в 12 случаях (14,3 %) перфорантные сосуды не удалось обнаружить.

Статистическая обработка полученных данных (сравнение групп 1 и 2 для двух методов лучевой диагностики) показала, что точность определения точки выхода перфорантного сосуда нижних конечностей из фасции методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием достоверно выше, чем таковая при КТА ( $p < 0.05$ ,  $\chi^2$ -критерий).

Таким образом, данные второго этапа работы продемонстрировали, что в ходе предоперационного планирования перфорантных лоскутов нижних конечностей метод КТА обладает меньшей чувствительностью при определении точки выхода перфоранта из поверхностного листка глубокой

фасции по сравнению с УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием.

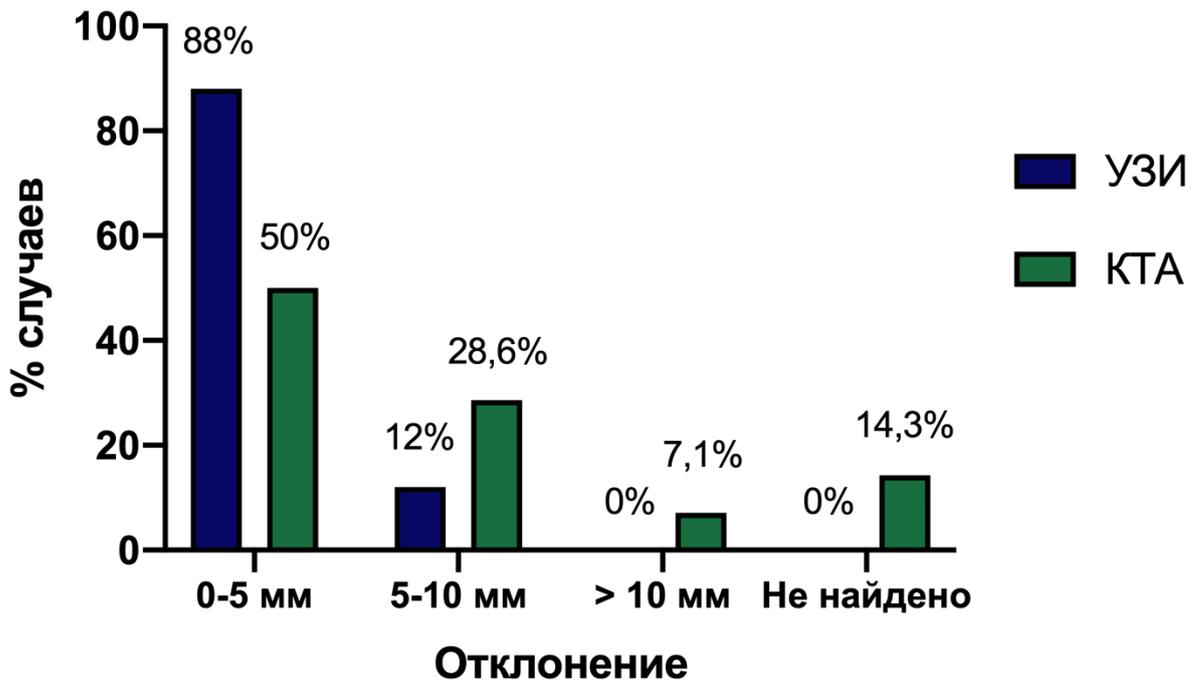


Рис. 18. Гистограмма сравнения точности определения точки выхода перфорантного сосуда из фасции двумя методами лучевой диагностики при предоперационном планировании перфорантного лоскута нижней конечности

### Клинический пример

Пациент П., 41 года, поступил с образованием на коже левой щеки. Со слов больного опухоль существовала около 1 года. За 3 недели до госпитализации была выполнена биопсия новообразования. При гистологическом исследовании диагностирован умеренно-дифференцированный плоскоклеточный рак. При проведенном предоперационном обследовании данных за наличие отдаленных метастазов опухоли не получено.

При поступлении: конфигурация лица изменена за счет наличия гигантской экзофитной бугристой кровоточащей опухоли левой щеки, неправильной формы, размерами 9 × 10 см, плотной, инфильтрирующей подлежащие мягкие ткани, жевательную мышцу и околоушную слюнную железу. Передний край опухоли расположен на расстоянии менее 1 см от

левого угла рта. Открывание рта ограничено опухолью, болезненное. Из выводного протока левой околоушной слюнной железы выделяется прозрачная слюна. Регионарные лимфоузлы не увеличены.

При предоперационном планировании перфорантного лоскута размером не менее 200 см<sup>2</sup> (учитывая объем опухолевого поражения – рис. 19, в) в качестве донорской области была выбрана переднебоковая поверхность правого бедра (рис. 19, а). Исследование с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволило визуализировать два перфорантных сосуда в планируемом донорском участке (рис. 19, г, пример эхограммы пациента П.), а также определить точки их выхода из поверхностного листка глубокой фасции (рис. 19, а) и нанести соответствующие метки на кожу. Полученные данные были подтверждены в ходе проведения операции при иссечении лоскута (рис. 19, б). Расстояния между метками на коже и реальными точками выхода перфорантных сосудов из фасции, определенными интраоперационно, составили не более 4 мм.

После проведения исследования методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием пациенту была сделана КТА. В результате был обнаружен лишь один перфорантный сосуд (дистальный), проекция точки выхода из фасции которого совпала с таковой, отмеченной после выполнения УЗИ (рис. 19, д).

В итоге пациенту была выполнена операция: широкое иссечение рака кожи левой щеки, экстирпация левой околоушной слюнной железы и селективная шейная лимфодиссекция слева с последующей пластикой дефекта перфорантным лоскутом переднебоковой поверхности правого бедра, площадью 220 см<sup>2</sup> с двумя питающими его сосудами (рис. 19, е).

Течение послеоперационного периода было гладким, раны на боковом отделе лица и правом бедре зажили первичным натяжением. Спустя 14 дней в удовлетворительном состоянии пациент был выписан из отделения под наблюдение хирурга поликлиники по месту прикрепления.

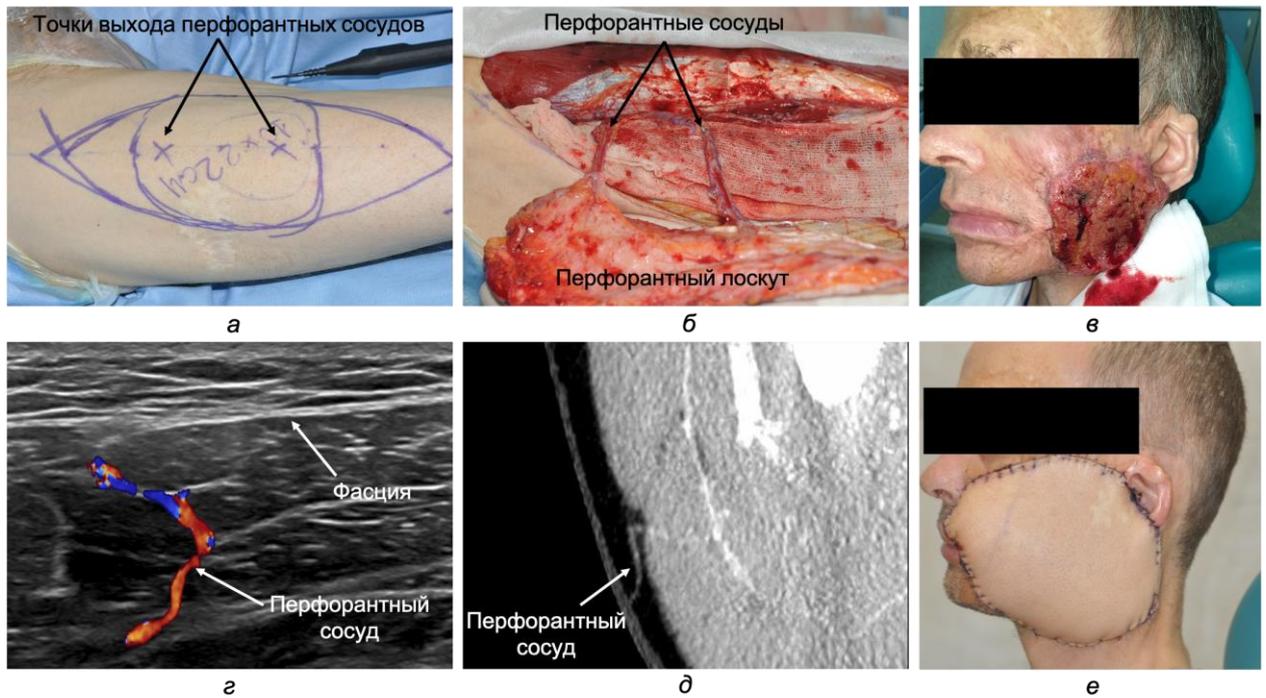


Рис. 19. Фотографии пациента П., которому была проведена реконструктивная операция по устранению челюстно-лицевого дефекта, полученного вследствие хирургического удаления новообразования, с использованием перфорантного лоскута переднебоковой поверхности бедра: *а* – предоперационное планирование лоскута размером 10 × 22 см, крестами на коже отмечены точки выхода перфорантных сосудов из поверхностного листка глубокой фасции, выявленные с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием; *б* – выделение лоскута на основе двух перфорантов в ходе операции; *в* – фотография пациента с новообразованием до хирургического вмешательства и проведения реконструктивной операции; *г* – предоперационная эхограмма пациента, на которой определяется перфорантный сосуд (в качестве примера приведен один из используемых в дальнейшем перфорантов); *д* – КТА пациента, позволившая выявить перфорантный сосуд при предоперационном планировании лоскута; *е* – фотография пациента после трансплантации перфорантного лоскута

### 3.2 Исследование перфорантных сосудов в группе пациентов с использованием реваскуляризированного малоберцового аутотрансплантата

В 19 случаях, исследованных в ходе работы, для устранения челюстно-лицевого дефекта был использован перфорантный лоскут голени одновременно с РМА. Лоскут планировали на участке выше дистальной  $\frac{1}{4}$  малоберцовой кости, чтобы избежать нарушения конгруэнтности голеностопного сустава.

В результате было показано, что УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволило визуализировать подходящие для

реконструктивной операции перфорантные сосуды у всех пациентов (19/19 – 100 %), а КТА – у 14 из 19 больных (73,7 %) (рис. 20). Статистическая обработка полученных данных выявила достоверное отличие в эффективности двух методов лучевой диагностики – частота обнаружения перфорантов с помощью УЗИ была выше, чем с использованием КТА ( $p < 0.05$ ,  $\chi^2$ -критерий).

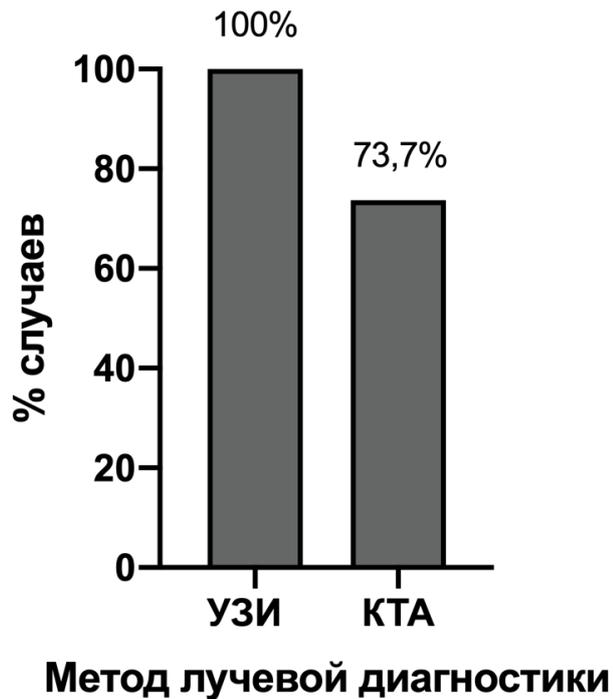


Рис. 20. Гистограмма сравнения частоты выявления перфорантных сосудов двумя методами лучевой диагностики при предоперационном планировании лоскутов задней поверхности голени

Несмотря на это, оба метода лучевой диагностики предоставили информацию о ходе перфорантных сосудов. Случаев сильной извитости или раздвоения перфорантов не наблюдалось.

Оценка чувствительности двух диагностических методов при определении точки выхода перфорантного сосуда из фасции показала, что, как и в группе пациентов без использования РМА, УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволило более точно детектировать данные точки, чем КТА. Погрешность до 5 мм при исследовании с помощью УЗИ была обнаружена в 16 случаях (16/19 – 84,2 %), а 5-10 мм – в 3 случаях (3/19 – 15,8 %). Отклонение в более, чем 10 мм, при

этом отсутствовало. Сравнение локализации точек выхода перфорантных сосудов, установленных с помощью КТА и интраоперационно, выявило, что погрешность 0-5 мм наблюдалась у 10 пациентов (10/19 – 52,6 %), 5-10 мм – у 3 пациентов (3/19 – 15,8 %), а >10 мм – у 1 больного (1/19 – 5,3 %) (рис. 21).

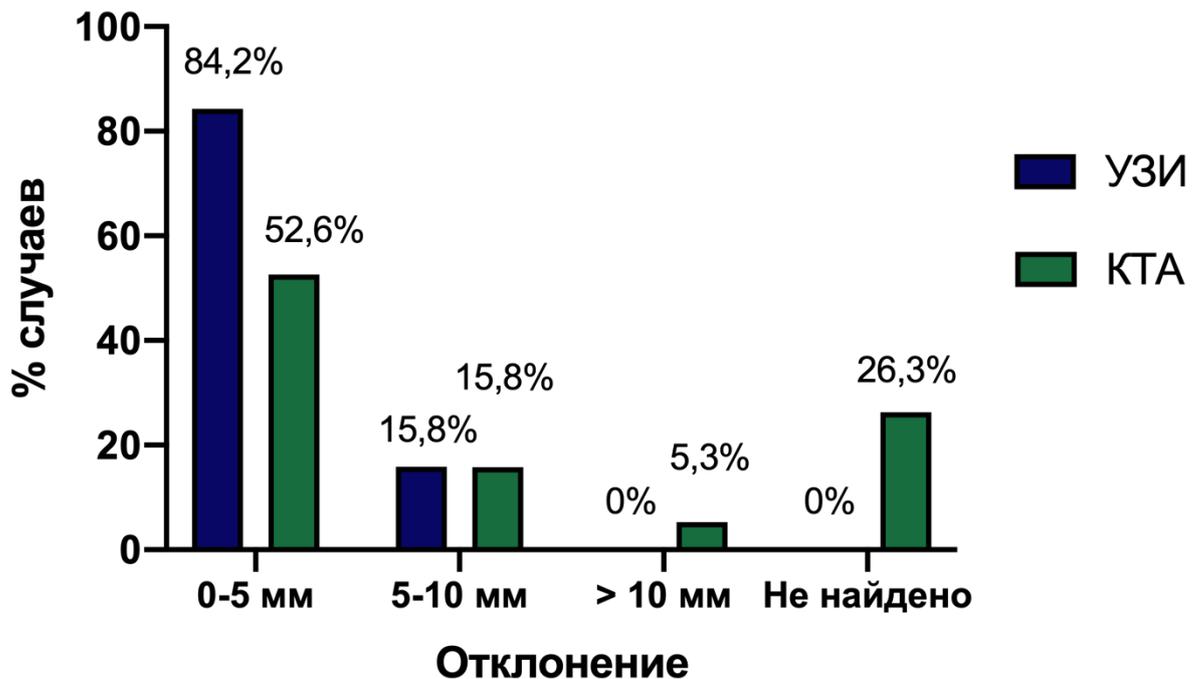


Рис. 21. Гистограмма сравнения точности определения точки выхода перфорантного сосуда из фасции двумя методами лучевой диагностики при предоперационном планировании перфорантного лоскута задней поверхности голени

Несмотря на то, что чувствительность УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием превосходила таковую у КТА, статистический анализ данных (сравнение групп 1 и 2 для двух методов лучевой диагностики) не выявил достоверного отличия между двумя методами лучевой диагностики ( $p > 0.05$ ,  $\chi^2$ -критерий).

Результаты, полученные в ходе исследований пациентов из группы с использованием РМА, подтвердили, что обследование больных с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием является более эффективным подходом для визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей, чем КТА. Тем не менее, как УЗИ, так и КТА позволили выявить ход и особенности строения сосудов при планировании перфорантного

лоскута на правой или левой голени. Помимо этого, в данной выборке клинических случаев чувствительность используемых методов при определении точки выхода перфорантного сосуда из фасции достоверно не отличалась. В ходе работы также было показано, что, в отличие от подгруппы без РМА, точность определения точки выхода перфоранта из фасции не имела существенного значения из-за изначально бóльшего размера хирургического доступа в интересующей области, обусловленного забором РМА. Более того, для подгруппы пациентов с использованием РМА было установлено, что важную роль при планировании перфорантного лоскута голени играла КТА, так как позволяла одновременно получить общее представление о строении костей и об особенностях сосудистой архитектоники на всей исследуемой области, чтобы определить наиболее подходящую зону для проведения операции и избежать развития возможных осложнений.

Таким образом, в подгруппе пациентов с РМА ведущую роль в выборе донорского участка в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута нижних конечностей играет именно КТА, а не УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, так как она позволяет получить исчерпывающую информацию не только о сосудистой анатомии голени в целом, но и дает возможность для планирования последующей костной реконструкции.

### **Клинический случай**

Пациентка Т., 49 лет, поступила с дефектом правой половины нижней челюсти и дна полости рта, полученным в результате резекции. Последняя была выполнена в связи с наличием плоскоклеточного рака альвеолярного отростка тела нижней челюсти T4aNxM0. Пациентке было предложено устранить данный дефект путем пластики дна полости рта с использованием перфорантного лоскута нижней конечности с реконструкцией нижней челюсти с помощью РМА.

Предоперационное исследование сосудов нижних конечностей с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием выявило нетипичный характер движения крови в них (коллатеральный тип кровотока), что позволило заподозрить отсутствие заднего большеберцового сосудистого пучка в голени. При этом, описываемая картина наблюдалась в обеих нижних конечностях. В случае забора РМА из этой области для устранения челюстно-лицевого дефекта такое хирургическое вмешательство могло привести к возникновению риска критической ишемии стопы. Однако однозначного заключения о безопасности проведения операции для аутотрансплантации сделать не удалось. В связи с этим, было принято решение исследовать анатомическое строение кровеносной системы нижних конечностей с помощью КТА. Данный метод позволил получить точные изображения костей и магистральных сосудов голеней, а также подтвердить анатомическую особенность строения последних у пациентки (рис. 22).

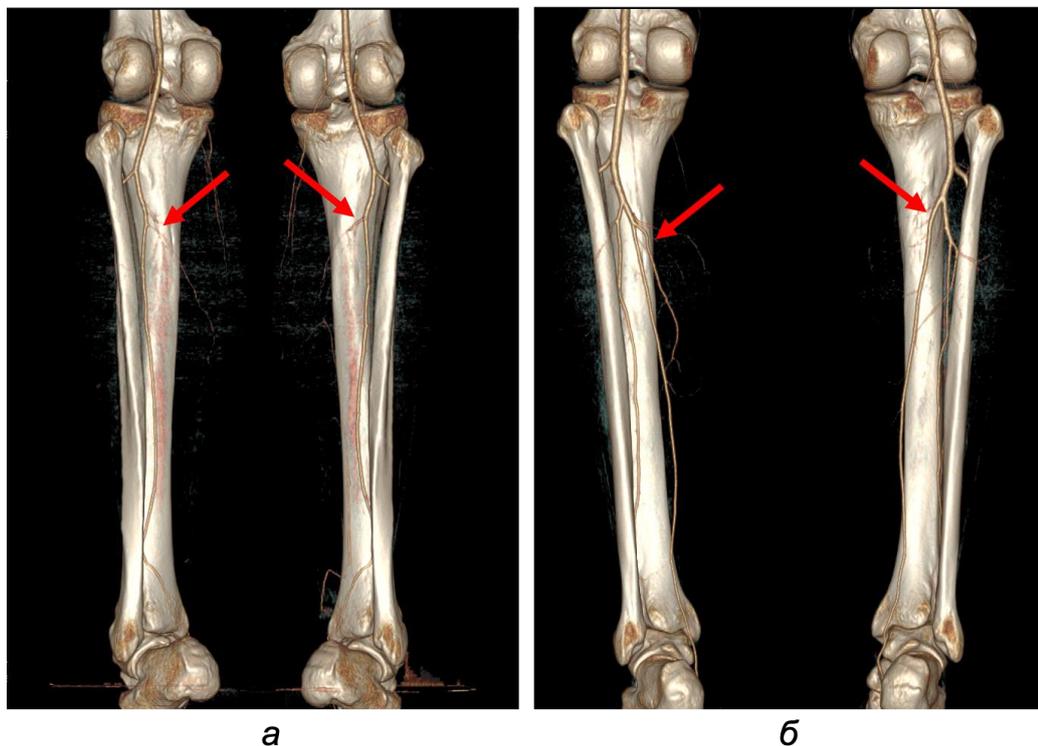


Рис. 22. Компьютерные томограммы с 3D-реконструкцией сосудов и костей нижних конечностей: *а* – пациентки Т., 49 лет, с анатомической особенностью – отсутствием заднего большеберцового сосудистого пучка обеих голеней (показаны стрелками); *б* – пациента М., 42 лет, пример строения сосудов голеней в норме с наличием задних большеберцовых сосудистых пучков (показаны стрелками)

В результате было выявлено, что у нее отсутствовали задние большеберцовые сосудистые пучки, вместо которых кровоснабжение осуществлялось с помощью многочисленных коллатералей. В результате был взят только перфорантный лоскут с переднебоковой поверхности левого бедра, и проведена успешная операция по его пересадке для устранения дефекта дна полости рта.

Постоперационный период протекал без осложнений. Пациентке был проведен курс антибактериальной, антикоагулянтной и симптоматической терапии.

Таким образом, на основе всех данных, полученных в ходе работы, был предложен следующий алгоритм проведения исследований при предоперационном планировании перфорантных лоскутов нижних конечностей для устранения дефектов челюстно-лицевой области (рис. 23):

1. сбор анамнеза и оценка критериев включения/исключения пациентов из исследования;
2. выбор донорского участка нижней конечности в зависимости от его физиологического состояния (наличия/отсутствия внешних повреждений) или необходимости одновременного забора костного аутотрансплантата;
3. проведение исследования донорской области для визуализации перфорантных сосудов и определения их количества, диаметра просвета, хода и точек выхода из фасции:
  - методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием в случае как переднебоковой поверхности бедра, так и задней поверхности голени при отсутствии необходимости забора РМА;
  - методом КТА и УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием при одномоментном заборе РМА и перфорантного лоскута голени. В данном случае с помощью КТА будет получена информация о костном аутотрансплантате с возможностью его 3D

моделирования, а также об особенностях сосудистой архитектоники в донорской области, а с помощью УЗИ подтверждено наличие и выявлены все необходимые данные о перфорантных сосудах на выбранном участке;

4. разметка кожи на донорском участке;
5. иссечение перфорантного лоскута для проведения реконструктивной операции в челюстно-лицевой области.

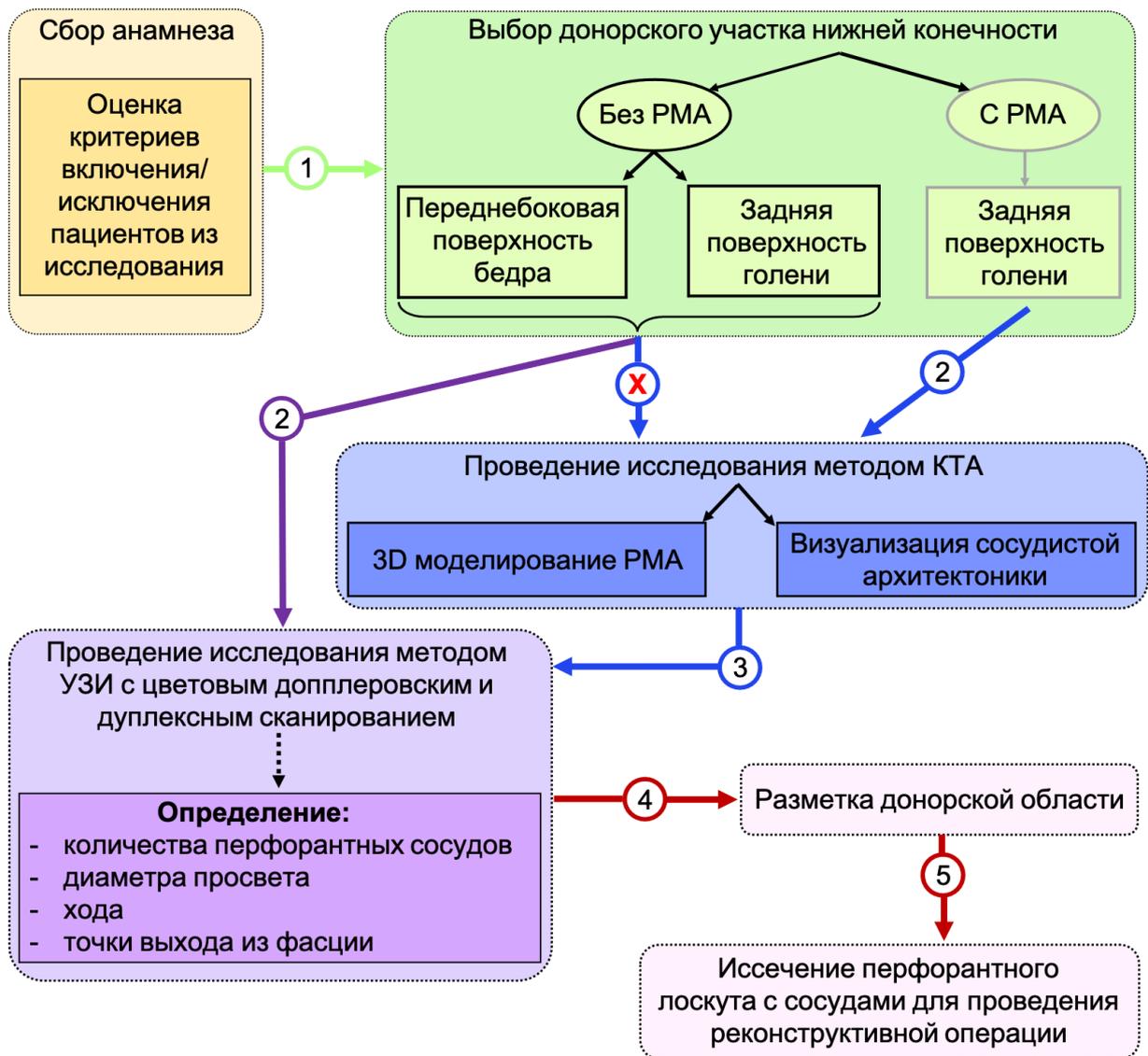


Рис. 23. Алгоритм выполнения лучевых исследований (УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА) в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута нижней конечности с использованием ревааскуляризованного малоберцового аутооттрансплантата (РМА) и без него для устранения челюстно-лицевого дефекта у пациента

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реконструктивные операции по устранению дефектов челюстно-лицевой области необходимы не только для восстановления нормального физиологического состояния поврежденного участка, но и эстетического восприятия пациентов социумом [Ogunrinde T. J. et al., 2020; Jimson S., 2021]. В последнем случае подобные дефекты способны оказывать сильное психологическое воздействие на пациентов [Prakash P. et al., 2021].

Причины развития челюстно-лицевых дефектов крайне разнообразны. Они могут быть как врожденными, так и приобретенными. Среди последних наиболее распространенными являются новообразования и связанные с ними методы лечения, а также различные травмы [Кропотов М. А. и др., 2018; Asatullaevich U. K. et al., 2019; Niazi T. M. et al., 2020].

Дефекты челюстно-лицевой области могут затрагивать лицевой скелет, а также прилегающие мягкие ткани [Bartella A. K. et al., 2021]. При реконструктивных операциях для устранения костных дефектов применяют различные импланты и графты [Шулятникова О. А., 2017; Alasseri N., Alasraj A., 2020; Lim H.-K. et al., 2022], а при повреждениях мягких тканей – кожные лоскуты [Дедиков Д. Н., 2020; Миронова Е. А., 2021; Kim S. R. et al., 2020; Yao X. Y. et al., 2020]. На данный момент широкое распространение в клинической практике получили перфорантные лоскуты [Бадюл П. А., Слесаренко С. В., 2020; Li J. et al., 2020; Fang Y. et al., 2021; Nguyen H. L. et al., 2021]. Они представляют собой участки кожи и/или подкожной клетчатки, кровоснабжаемые обособленными сосудами (перфорантами), которые прободают глубокие ткани (мышцы или фасции). Глобально принято выделять три типа перфорантов: 1) прямые кожные, 2) кожно-перегородочные и 3) кожно-мышечные [Tenekeci G., 2017; Low O.-W. et al., 2019]. Концепция использования перфорантного лоскута в микрохирургии играет важную роль, поскольку позволяет проводить менее инвазивные и более сложные

реконструктивные операции с сохранением крупных сосудов и мышц [Yamamoto T. et al., 2019].

Перфорантные лоскуты могут быть получены из разных донорских участков, однако наиболее часто их берут из передней стенки брюшной полости [Butler D. P. et al., 2018], из ягодичной [Godbout E. et al., 2013] или поясничной областей [Opsomer D. et al., 2021], а также из нижних конечностей [Shahabuddin S. F., Khurram M. F., 2020; Kumbala P. A. et al., 2021].

Многие микрохирурги предпочитают использовать перфорантные лоскуты нижних конечностей [Arvanitakis M. et al., 2019; Scaglioni M. F., Macek A., 2019; Steiner S. A. et al., 2020; Jakubietz R. et al., 2021]. Это обусловлено тем, что они существенно снижают травматизацию и осложнения в донорской области, а также являются универсальными мягкоткаными трансплантатами для устранения дефектов разнообразных реципиентных участков, таких как стенка брюшной полости, паховая и генитальная области [Steiner S. A. et al., 2020], нижние конечности [AlMugaren F. M. et al., 2020; Eldahshoury T. et al., 2021], челюстно-лицевая область [Wolff K.-D. et al., 2018; Yang R. et al., 2020] и многие другие. Однако не стоит забывать, что сосудистая система нижних конечностей достаточно переменчива. При проведении операции по иссечению перфорантного лоскута нижней конечности для устранения кожного дефекта хирурги часто сталкиваются с разнообразным расположением и ходом перфорантного сосуда, что затрудняет процедуру и увеличивает время ее проведения [Lee K. J. et al., 2021]. В связи с этим крайне важно обладать всей необходимой информацией о локализации и особенностях перфорантного сосуда (ходе, диаметре просвета, ветвлении) еще на этапе предоперационного планирования лоскута.

В настоящее время существует множество методов визуализации перфорантных сосудов. К ним относятся ультразвуковое исследование (УЗИ) [Imaizumi A., Kadota H., 2020], компьютерно-томографическая ангиография (КТА) [Soliman H. H. et al., 2020; Renzulli M. et al., 2021], магнитно-резонансная ангиография [Park S.-J. et al., 2018], метод термографии [Pereira N. et al., 2018]

и индоцианиновой зеленой флуоресцентной ангиографии в ближней инфракрасной области [Wu C.-W. et al., 2022]. Все они обладают своими преимуществами и ограничениями. В клинической практике наибольшее распространение нашли методы лучевой диагностики, а именно УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА. При этом, многие авторы утверждают, что для визуализации перфорантных сосудов на предоперационном этапе планирования лоскута следует использовать КТА, так как она обладает бóльшей эффективностью по сравнению с УЗИ [He Y. et al., 2015; Lee J. W. et al., 2015; Soliman H. H. et al., 2020; Renzulli M. et al., 2021]. Однако существуют единичные работы, свидетельствующие о том, что в некоторых случаях, в частности, при использовании перфорантного лоскута нижних конечностей, исследование перфорантных сосудов методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволяет получить более подробную информацию, чем КТА [Feng S. et al., 2016; Debelmas A. et al., 2018; Soliman H. H. et al., 2020; Lee K. J. et al., 2021]. В связи с этим остается открытым вопрос о том, какой из описанных методов лучевой диагностики или их комбинацию следует использовать для визуализации перфорантных сосудов в ходе предоперационного планирования лоскута нижней конечности. Помимо этого, в имеющихся публикациях нет четкого описания последовательности проведения исследований с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА, необходимой для выявления перфорантных сосудов в зависимости от конкретного донорского участка нижней конечности. Так, например, понимание того факта, что обследование пациентов только с использованием метода УЗИ не приводит к потере качества получаемых результатов, может снизить лучевую нагрузку на больного, а также ускорить и удешевить процесс предоперационной подготовки.

С целью совершенствования лучевой диагностики перфорантных сосудов нижних конечностей за счет сравнительного анализа информативности исследований с использованием УЗИ с цветовым доплеровским и

дуплексным сканированием, а также КТА были поставлены следующие задачи:

1. Изучить возможность УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА выявлять перфорантные сосуды нижних конечностей с диаметром от 1 до 1,5 мм и определять ход данных сосудов.

2. Провести сравнительный анализ эффективности УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА для визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей у пациентов в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута.

3. Сопоставить точность определения анатомической локализации перфорантных сосудов нижних конечностей, установленной с использованием методов УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА, относительно таковой, выявленной при проведении операции.

4. Определить роль и место УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА на предоперационном этапе планирования перфорантных лоскутов нижних конечностей у пациентов с дефектами челюстно-лицевой области.

5. Разработать диагностический алгоритм обследования донорской области пациентов в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута нижней конечности.

Для решения этих задач пациентам (n=103) на этапе предоперационного планирования перфорантного лоскута для устранения дефектов челюстно-лицевой области были проведены исследования по выявлению перфорантных сосудов переднебоковой поверхности бедра (n=81) и задней поверхности голени (n=3 в подгруппе без использования РМА и n=19 в подгруппе с РМА), определению их хода и точки выхода из поверхностного листка глубокой фасции с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным

сканированием и КТА. Эти данные были сопоставлены с таковыми, полученными в ходе непосредственного проведения операции.

Среди пациентов, принявших участие в исследовании, отмечается преобладание мужчин (n=91) над женщинами (n=12) – 88,3 % и 11,7 %, соответственно. Анализ данных позволил установить, что основная масса больных мужского пола была в возрасте от 31 до 60 лет (n=68), относящихся к трудоспособному возрасту, – 66 %. При этом, были выявлены две почти равнозначные по частоте встречаемости причины развития дефектов челюстно-лицевой области: травматические повреждения и связанные с ними операции (если таковые выполнялись) – 47,6 % (n=49), а также новообразования и связанные с ними химиолучевая терапия или хирургическое вмешательство (если таковые проводились) – 52,4 % (n=54). Распределение пострадавших по возрасту и полу существенно не отличалось от данных других авторов [Feng S. et al., 2016; Wolff K.-D. et al., 2018; Lee K. J. et al., 2021]. Кроме того, было обнаружено, что пациенты обращались в госпиталь за реконструкцией челюстно-лицевых дефектов в течение 1-4 недель в 24,4 % случаев (n=12) и более одного года – в 28,6 % (n=14) с момента возникновения дефекта, когда его причинами были различные ранения и последующие этапы госпитализации. При устранении дефектов, вызванных новообразованиями и их лечением, время обращения за медицинской помощью в 88,9 % случаев (n=48) составляло более 6 месяцев.

Все исследуемые случаи были разбиты на две подгруппы. В первую входили пациенты, которым требовалась трансплантация только перфорантного лоскута (с переднебоковой поверхности бедра или задней поверхности голени) (n=84). Во вторую подгруппу вошли больные, у которых производили одновременный забор как лоскута задней поверхности голени, так и реваскуляризованного малоберцового аутооттрансплантата (РМА) (n=19).

При дефекте только мягких тканей челюстно-лицевой области (подгруппа пациентов без использования РМА) в 96,4 % случаев (n=81) для

реконструктивных операций использовали переднебоковые лоскуты бедра (ALT – Anterolateral Thigh Perforator Flaps), которые наиболее часто применяется в рутинной клинической практике [Jaiswal D. et al., 2017; Lu D. et al., 2019; Yang R. et al., 2020]. Данные лоскуты размером от 35 до 120 см<sup>2</sup> выделялись на основе одного перфорантного сосуда, а для лоскутов бóльшего размера количество питающих их сосудов варьировалось от одного до четырех. Несмотря на отсутствие прямой корреляции между площадью аутотрансплантата и количеством перфорантных сосудов, необходимых для его кровоснабжения, по возможности рекомендуется планировать лоскут с несколькими перфорантами. После проведения реконструктивной операции это обеспечивает лучшее питание и приживание пересаживаемой ткани, особенно при наличии анатомических особенностей донорской области у конкретного пациента [Mendieta M. et al., 2018; Rahman et al., 2018; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2021].

В ходе работы кожные лоскуты, используемые для устранения дефектов челюстно-лицевой области, планировали на основе только тех перфорантных сосудов, диаметр просвета которых составлял от 1,0 до 1,5 мм. Согласно работам ряда авторов перфорантные сосуды такого диаметра наиболее часто используются для реконструктивных операций, так как снижают риск развития осложнений [Ardelean F. et al., 2015; Kehrer A. et al., 2020; Schiltz D. et al., 2021].

Одним из наиболее значимых параметров, который оценивался в данной работе при сравнении эффективности двух методов лучевой диагностики для планирования лоскутов нижних конечностей, была частота случаев обнаружения подходящих перфорантных сосудов в донорской области. В ходе обследования пациентов им проводили исследования с помощью как УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, так и КТА. Результаты подтверждали интраоперационно. Несмотря на то, что оба метода лучевой диагностики позволили выявить перфорантные сосуды нижних конечностей и определить их ход, было обнаружено достоверное различие в

эффективности данных подходов. Частота визуализации перфорантных сосудов с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием составила 100 % (n=103) при использовании в качестве донорского участка переднебоковой поверхности бедра и задней поверхности голени. Исследования пациентов методом КТА оказались менее информативными. Подходящие перфорантные сосуды были обнаружены в 86,4 % случаев (n=70) для бедренной области и суммарно в 72,7 % случаев (n=2 в подгруппе без использования PMA и n=14 в подгруппе с PMA) для голени. Эти данные коррелируют с описанными в работе Feng с соавт. (2016) на примере 40 пациентов [Feng S. et al., 2016]. Авторы показали, что эффективность визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием выше, чем таковая у КТА (95 % и 90 %, соответственно). В работе Ensaf с соавт. (2012) также было установлено, что УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием имеет положительную прогностическую ценность при выявлении перфорантных сосудов переднебоковой поверхности бедра [Ensaf F. et al., 2012]. При исследовании 13 пациентов с помощью данного метода удалось визуализировать 30 перфорантов, 29 из которых были подтверждены в ходе проведения операции (96,7 %).

Вторым важным параметром, по которому проводилось сравнение двух методов лучевой диагностики, была их чувствительность. При этом, исследовалась точность определения точки выхода перфорантного сосуда из фасции. Критерием оценки служило расстояние между точкой выхода перфоранта, определенной с помощью одного из диагностических методов, и таковой, подтвержденной в ходе проведения операции. На основе выявленных погрешностей все клинические случаи были разделены на группы: 1) с отклонением 0-5 мм; 2) 5-10 мм и 3) более 10 мм. Аналогичные диапазоны были использованы в работах других авторов [Feng S. et al., 2016; Debelmas A. et al., 2018; Goetze E. et al., 2020]. Погрешность 0-5 мм считали незначительной, так как она не оказывает существенного влияния при

планировании лоскута [Feng S. et al., 2016]. Отклонение в 5-10 мм принимали допустимым, а более 10 мм – не удовлетворяющим требованиям предоперационного планирования перфорантного лоскута. В результате проведенного сравнительного анализа было показано, что чувствительность УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием при планировании перфорантного лоскута переднебоковой поверхности бедра или задней поверхности голени в подгруппе пациентов без использования РМА была достоверно выше, чем у КТА. Во всех клинических случаях (n=84) отклонение точки выхода перфоранта, определенное с помощью УЗИ, от реальной, выявленной интраоперационно, не превышало 10 мм. При проведении исследований с помощью КТА погрешность 0-10 мм была зарегистрирована лишь у 78,6 % пациентов (n=66). Однако в подгруппе больных с использованием РМА несмотря на то, что чувствительность УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием превосходила таковую у КТА, статистически значимое отличие между методами лучевой диагностики отсутствовало. Погрешность до 10 мм при обследовании пациентов методом УЗИ была выявлена в 100 % случаев (n=19), а при КТА – в 68,4 % (n=13). Можно предположить, что отсутствие достоверности в разнице полученных для двух методов лучевой диагностики результатов связано с небольшой выборкой больных в исследуемой подгруппе. При этом, полученные результаты хорошо соотносятся с данными Feng с соавт. (2016), Debelmas с соавт. (2018) и Lee с соавт. (2021) [Feng S. et al., 2016; Debelmas A. et al., 2018; Lee K. J. et al., 2021]. Так, в работе Feng с соавт. (2016) было установлено, что определение топографической локализации перфорантных сосудов с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием обладает бóльшей точностью, чем при использовании КТА. Допустимая погрешность в случае исследования пациентов методом УЗИ была обнаружена в 95 % случаев (n=38), а при КТА – в 82,5 % (n=33). Тем не менее, данная разница так же не была статистически значимой. Однако авторы обнаружили, что величина погрешности при обследовании больных с

помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием ( $1,11 \pm 1,29$  мм) достоверно меньше, чем таковая при КТА ( $2,55 \pm 2,63$  мм) [Feng S. et al., 2016]. В связи с этим, ученые пришли к выводу, что в случае использования нижних конечностей в качестве донорского участка при планировании перфорантных лоскутов метод УЗИ подходит лучше, чем КТА. Таким образом, результаты, полученные в ходе работы в рамках данного диссертационного исследования, а также заключение Feng с соавт. (2016) отличаются от устоявшегося мнения, согласно которому КТА обладает большей чувствительностью и эффективностью для визуализации перфорантных сосудов, чем УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием. Однако данное мнение в основном касается перфорантов из области брюшной стенки [O'Connor E. F. et al., 2016; Wade R. G. et al., 2018; Rozen W. M. et al., 2019; Sandberg L. J., 2020; Egozi D., 2022]. Это можно объяснить особенностью анатомического строения нижних конечностей, а именно, их относительно тонкой подкожно-жировой клетчаткой. Поскольку разрешение получаемого с помощью КТА изображения зависит от различия между плотностью контрастированного перфорантного сосуда и жировой ткани, то в тех областях, где слой жировой клетчатки более выраженный, например, в брюшной области, КТА позволяет получить четкое детализированное изображение перфорантного сосуда и, соответственно, точно определить расположение его внутримышечного или подкожного участков. Однако в зонах с менее выраженной жировой тканью эффективность КТА снижается, в результате чего изображение получается менее детализированным в отличие от такового, снятого методом УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием [Feng S. et al., 2016].

Перспективность использования УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием в ходе предоперационной визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей описывается в работах Debelmas с соавт. (2018) и Lee с соавт. (2021) [Debelmas A. et al., 2018; Lee K. J. et al., 2021]. Авторы подчеркивают, что данный метод исследования обеспечивает

безопасный, надежный и точный способ визуализации сосудов переднебоковой поверхности бедра, а также имеет высокую корреляцию с интраоперационными данными.

В данной работе было отмечено, что для наглядной визуализации хода перфорантного сосуда и улучшения ее качества при проведении исследований с помощью КТА необходимо использовать дополнительные инструменты постобработки изображений, такие как построение мультипланарных реконструкций в проекциях максимальной интенсивности и криволинейных реконструкций, полученных по оси выбранного сосуда. Несмотря на то, что это требует дополнительного времени и владения соответствующими навыками, наличие возможности обрабатывать изображения в зависимости от целей конкретного исследования является положительной характеристикой данного метода лучевой диагностики [Vegas M. R., 2013; Chae M. P. et al., 2016]. Кроме того, наряду с оптимальным выбором наиболее наглядной реконструкции получаемых изображений КТА позволяет варьировать протоколы исследований, подбирая наиболее целесообразный для правильной оценки перфорантных сосудов [Renzulli M. et al., 2021].

В ходе диссертационного исследования была отдельно изучена подгруппа пациентов, которым производили одновременный забор как лоскута задней поверхности голени, так и реваскуляризованного малоберцового аутотрансплантата. Было показано, что в данном случае исследование с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием также необходимо для визуализации, определения диаметра просвета и хода перфорантного сосуда, но, в отличие от подгруппы без РМА, определение точки выхода перфоранта из фасции не имеет столь существенного значения из-за изначально большего размера хирургического доступа в интересующей области, обусловленного забором РМА. Важным результатом проведенного исследования стал тот факт, что для данной подгруппы пациентов важную роль на предоперационном этапе планирования донорского участка играет КТА, поскольку она позволяет получить общее

представление о строении костей одновременно с выявлением особенностей сосудистой архитектоники на всей исследуемой области. Знание таких особенностей в анатомии кровеносной системы донорского участка помогает определить наиболее подходящую зону для проведения операции и избежать развития возможных осложнений.

Таким образом, основываясь на полученных в ходе диссертационного исследования данных, было сделано заключение о роли и месте УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, а также КТА на предоперационном этапе планирования перфорантных лоскутов нижних конечностей у пациентов с дефектами челюстно-лицевой области. Было показано, что в случае использования мягкотканного трансплантата УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием является более эффективным и чувствительным методом для визуализации перфорантных сосудов и определения точки их выхода из фасции по сравнению с КТА. Однако при заборе перфорантного лоскута одновременно с костным ауто трансплантатом ведущую роль в выборе донорского участка играет именно КТА, а не УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием. Это связано с тем, что КТА позволяет получить исчерпывающую информацию не только о сосудистой анатомии нижней конечности в целом, но и дает возможность для планирования костной реконструкции.

Результаты работы в рамках выполнения диссертационного исследования сопровождались иллюстрациями и таблицами, а также были проанализированы с применением современных методов статистической обработки данных.

Полученные в ходе выполнения работы результаты легли в основу разработки алгоритма проведения исследований с использованием двух методов лучевой диагностики на предоперационном этапе планирования перфорантных лоскутов нижних конечностей для устранения дефектов челюстно-лицевой области. Согласно данному алгоритму, первоначально

необходимо решить, какой донорский участок будет использован – переднебоковая поверхность бедра или задняя поверхность голени. Выбор зависит от наличия/отсутствия повреждений в конкретной области, а также от того, есть ли необходимость одновременного забора костного аутотрансплантата. В том случае, если в качестве донорского участка будет использована переднебоковая поверхность бедра или задняя поверхность голени без РМА, достаточно провести исследования только с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием. Данный метод предоставит полную информацию о диаметре просвета перфорантного сосуда, его ходе и точке выхода из фасции, а также позволит избежать лучевую нагрузку на пациента и снизить время обследования. Когда же требуется забор РМА одновременно с перфорантным лоскутом голени, целесообразно проводить исследование как с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, так и КТА. КТА предоставит информацию о костном аутотрансплантате, с возможностью построения его трехмерной модели, а также выявит особенности сосудистой архитектуры в донорской области. После этого с помощью УЗИ будет подтвержден факт наличия подходящих перфорантных сосудов на выбранном участке и выявлены все их характеристики. На основе полученных данных будет произведена разметка кожи и осуществлена вся необходимая подготовка к операции.

Схема данного алгоритма была зарегистрирована и запатентована.

Проведенная работа позволила сформулировать выводы и практические рекомендации по применению результатов данной научно-исследовательской работы.

В дальнейшем перспективной темой для исследований представляется разработка универсального алгоритма предоперационного планирования перфорантных лоскутов, включающего использование наиболее эффективного и безопасного метода для визуализации перфорантных сосудов из различных донорских областей.

## ВЫВОДЫ

1. Методы лучевой диагностики, УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА, позволяют визуализировать перфорантные сосуды нижних конечностей (в области бедра и голени) с диаметром от 1 до 1,5 мм и проследить их ход.

2. Эффективность УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием для визуализации перфорантных сосудов нижних конечностей в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута в подгруппах пациентов без использования РМА и с ним составила 100 %. Эффективность КТА была достоверно ниже: в подгруппе без РМА она составила 86,4 % при использовании в качестве донорского участка переднебоковой поверхности бедра и 66,7 % при выборе голени; в подгруппе с РМА – 73,7 %.

3. В подгруппе пациентов без использования РМА УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволяет достоверно более точно определить точку выхода перфорантного сосуда из фасции, чем КТА: погрешность 0-5 мм ультразвукового метода лучевой диагностики была выявлена у 88 % пациентов, КТА – у 50 %, а допустимое отклонение в 5-10 мм – у 12 % и 28,6 % больных, соответственно. В подгруппе пациентов с использованием РМА точность определения точки выхода перфорантных сосудов из фасции с помощью УЗИ была выше, чем у КТА, однако статистически значимое отличие между данными методами отсутствовало.

4. На основе анализа результатов исследований пациентов из подгруппы без использования РМА (n=84) было установлено, что в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута как переднебоковой поверхности бедра, так и голени для визуализации сосудов достаточно использовать УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием без применения КТА.

5. Анализ данных обследования больных из подгруппы с использованием РМА (n=19) показал, что при планировании перфорантного лоскута голени одновременно с РМА необходимо проводить исследования как с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, так и КТА.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. С целью улучшения качества визуализации хода перфорантных сосудов нижних конечностей при исследовании их с помощью КТА следует применять дополнительные инструменты постобработки изображений, такие как построение мультипланарных реконструкций в проекциях максимальной интенсивности и криволинейных реконструкций, полученных по оси выбранного сосуда.

2. Пациентам с дефектами челюстно-лицевой области в ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута переднебоковой поверхности бедра или задней поверхности голени без костного аутотрансплантата рекомендовано проводить исследование с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием. Это позволит снизить лучевую нагрузку, предоставив при этом всю необходимую для проведения операции информацию.

3. В ходе предоперационного планирования перфорантного лоскута переднебоковой поверхности бедра или задней поверхности голени без костного аутотрансплантата нецелесообразно использовать КТА по причине ее более низкой эффективности для визуализации перфорантных сосудов, а также меньшей чувствительности при определении точки выхода сосуда из фасции по сравнению с УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием.

4. Пациентам, которым необходима пересадка перфорантного лоскута голени одновременно с реваскуляризированным малоберцовым аутотрансплантатом, рекомендовано сначала проводить исследование методом КТА, а затем УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием. КТА позволит смоделировать костный трансплантат и выявить особенности сосудистой архитектоники в донорской области, а УЗИ – получить необходимую подробную информацию о перфорантных сосудах.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бадюл П. А. Применение тонкого перфорантного лоскута на поверхностной артерии, огибающей подвздошную кость (SCIP), в реконструктивной хирургии / П. А. Бадюл, С. В. Слесаренко // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. – 2020. – Т. 23. – № 2. – С. 13-21.
2. Гомболевский В. А. Особенности применения контрастных препаратов в лучевой диагностике / В. А. Гомболевский, А. Ш. Лайпан, М. И. Бадюл и др. // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – 2018. – Вып. 15. – 55 с.
3. Дедиков Д. Н. Замещение дефектов нижней челюсти с использованием васкуляризованного аутотрансплантата в сочетании с нетканым титановым материалом со сквозной пористостью / Д. Н. Дедиков // Дисс. канд. мед. наук. – 2020. – Самара.
4. Каприн А. Д. Злокачественные новообразования в России в 2019 году (заболеваемость и смертность) / Под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, А. О. Шахзадовой. – М.: МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2020. – 252 с.
5. Клинические рекомендации. Хроническая болезнь почек (ХБП) // Нефрология. – 2021. – № 25 (5). – С. 10-82.
6. Кропотов М. А. Реконструктивные операции на нижней челюсти при опухолях челюстно-лицевой области и слизистой полости рта. Учебное пособие / М. А. Кропотов, В. А. Соболевский, Ю. Ю. Диков и др. // СИМК. – 2018. – Москва.
7. Крохмаль С. В. Факторы, приводящие к возникновению челюстно-лицевой травмы и к ее осложнениям / С. В. Крохмаль, А. С. Карпов, А. И. Раевская и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 5.
8. Миронова Е. А. Применение васкуляризованного щёчного слизисто-мышечного лоскута при пластическом устранении дефектов рта / Е. А. Миронова // Дисс. канд. мед. наук. – 2021. – Москва.

9. Поляков А. П. Современная онкологическая классификация дефектов верхней и нижней челюстей, комбинированных дефектов челюстно-лицевой области / А. П. Поляков, И. В. Ребрикова // Опухоли головы и шеи. – 2017. – № 7 (4).
10. Трефилов А. А. Возможности методов лучевой диагностики в предоперационном планировании устранения приобретенных челюстно-лицевых дефектов / А. А. Трефилов, Е. В. Крюков, В. Н. Троян и др. // Радиология – практика. – 2021. – №. 4. – С. 67-75.
11. Трефилов А. А. Использование ультразвуковой доплерографии и компьютерно-томографической ангиографии при планировании перфорантных лоскутов нижних конечностей (клинический случай) / А. А. Трефилов, Е. В. Крюков, В. Н. Троян и др. // Радиология – практика. – 2021. – Т. 6. – С. 74-81.
12. Храмова Н. Методы хирургического лечения дефектов мягких тканей лица / Н. Храмова, Р. Амануллаев, Ю. Хусанова // Stomatologiya. – 2020. – Т. 13 (80). – С. 95-100.
13. Чередниченко Н. О. Особенности визуализации перфорантных сосудов на этапе предоперационного планирования перфорантных лоскутов методом компьютерной томографии с ангиографией / Н. О. Чередниченко, П. О. Бадюл, С. В. Слесаренко, Ф. И. Куликова // Лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2017. – № 1.
14. Шулятникова О. А. Разработка, оптимизация материалов и конструкций для ортопедического этапа лечения пациентов с переломами и приобретенными дефектами челюстных костей. Экспериментально-клиническое исследование / О. А. Шулятникова // Дисс. докт. мед. наук. – 2017. – Пермь.
15. Alasseri N. Patient-specific implants for maxillofacial defects: challenges and solutions / N. Alasseri, A. Alasraj // Maxillofac Plast Reconstr Surg. – 2020. – V. 42 (1). – P. 15.

16. Al-Hassani A. Prevalence and patterns of maxillofacial trauma: a retrospective descriptive study. A. Al-Hassani, K. Ahmad, A. El-Menyar et al. // *Eur J Trauma Emerg Surg.* – 2019.
17. Alkhawaji A. Three-Dimensional Analysis of the Perforators of the Integument in the Human Thigh / A. Alkhawaji // Halifax, NS: Dalhousie University. – 2013.
18. AlMugaren F. M. Best Local Flaps for Lower Extremity Reconstruction / F. M. AlMugaren, C. J. Pak, H. P. Suh, J. P. Hong // *Plast Reconstr Surg Glob Open.* – 2020. – V. 8 (4). – P. e2774.
19. Ardelean F. Perforator flaps in hand reconstruction: the effect of blood vessel twisting / F. Ardelean, M. Muntean, D. Dumitrascu et al. // *Clujul Med.* – 2015. – V. 88 (3). – P. 343-347.
20. Arvanitakis M. Groin defect reconstruction with perforator flaps: Considerations after a retrospective single-center analysis of 54 consecutive cases / M. Arvanitakis, P. Schlagnitweit, A. Franchi et al. // *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* – 2019. – V. 72 (11). – P. 1795-1804.
21. Asatullaevich U. K. Successful rehabilitation in patients with postoperative maxillofacial defects / Asatullaevich U. K., Maeda H., Alimdjanovich R. J. et al. // *Ann. Cancer Res. Ther.* – 2019. – V. 27 (2). – P. 57-58.
22. Awadalkreem F. Prosthetic rehabilitation of maxillary and mandibular gunshot defects with fixed basal implant-supported prostheses: A 5-year follow-up case report / F. Awadalkreem, N. Khalifa, A. G. Ahmad et al. // *Int J Surg Case Rep.* – 2020. – V. 68. – P. 27-31.
23. Badiul P. O. Multidetector-row computed tomographic angiography in the planning of the local perforator flaps / P. O. Badiul, S. V. Sliesarenko // *Plast Reconstr Surg Glob Open.* – 2015. – V. 22. – P. e516.
24. Bartella A. K. Quality of life in patients with oral hard or soft tissue defects after reconstructive microsurgery / A. K. Bartella, M. Kamal, D. Gerwing et al. // *Br J Oral Maxillofac Surg.* – 2021. – V. 59 (1). – P. 70-75.

25. Boczar D. Use of Ultra-high-frequency Ultrasound on Diagnosis and Management of Lipofibromatous Hamartoma: A Technical Report / D. Boczar, A. J. Forte, L. P. Serrano et al. // *Cureus*. – 2019. – V. 11 (9). – P. e5808.
26. Butler D. P. Factors that predict deep inferior epigastric perforator flap donor site hernia and bulge / D. P. Butler, A. M. Plonczak, D. Reissis et al. // *J Plast Surg Hand Surg*. – 2018. – V. 52 (6). – P. 338-342.
27. Chae M. P. Comparative analysis of fluorescent angiography, computed tomographic angiography and magnetic resonance angiography for planning autologous breast reconstruction / M. P. Chae, D. J. Hunter-Smith, W. M. Rozen // *Gland Surg*. – 2015. – V. 4 (2). – P. 164-178.
28. Chae M. P. Comparative study of software techniques for 3D mapping of perforators in deep inferior epigastric artery perforator flap planning / M. P. Chae, D. J. Hunter-Smith, W. M. Rozen // *Gland Surg*. – 2016. – V. 5 (2). – P. 99-106.
29. Chae M. P. Enhanced Preoperative Deep Inferior Epigastric Artery Perforator Flap Planning with a 3D-Printed Perforasome Template: Technique and Case Report / M. P. Chae, D. J. Hunter-Smith, Rostek M. et al. // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2018. – V. 6 (1). – P. e1644.
30. Chen F. R. Noncontrast Magnetic Resonance Imaging of Perforators for Preoperative Evaluation of Anterolateral Thigh Flaps / F. R. Chen, J. Kerluku, D. Mintz et al. // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2020. – V. 8 (10). – e3174.
31. Cina A. Planning deep inferior epigastric perforator flaps for breast reconstruction: A comparison between multidetector computed tomography and magnetic resonance angiography / A. Cina, L. Barone-Adesi, P. Rinaldi et al. // *Eur Radiol*. – 2013. – V. 23. – P. 2333-2343.
32. Debelmas A. Reliability of Color Doppler Ultrasound Imaging for the Assessment of Anterolateral Thigh Flap Perforators: A Prospective Study of 30 Perforators / A. Debelmas, O. Camuzard, P. Aguilar, Q. Qassemyar // *Plast Reconstr Surg*. – 2018. – V. 141 (3). – P. 762-766.

33. Dölen U. C. Subunit Reconstruction of Mid-Facial Defects With Free Style Facial Perforator Flaps. / U. C. Dölen, Y. Baltu, O. Aydin // *J Craniofac Surg.* – 2018. – V. 29 (6). – P. 1574-1577.
34. Driessen C. How should indocyanine green dye angiography be assessed to best predict mastectomy skin flap necrosis? A systematic review / C. Driessen, T. H. Arnardottir, A. R. Lorenzo, M. R. Mani // *JPRAS.* – 2020. – V. 73. – P. 1031-1042.
35. Egozi D. DIEP Flap Preoperative Planning Using Virtual Reality Based on CT Angiography / D. Egozi, V. Perkhulov, L. Kouniavsky et al. // *Plast Reconstr Surg Glob Open.* – 2022. – V. 10 (3). – P. e4209.
36. Eldahshoury T. Safety and Vascular Impact of Perforator Propeller Flaps during Distal Lower Limb Reconstruction / T. Eldahshoury, R. Cacciola, K. El-Gazzar // *Plast Reconstr Surg Glob Open.* – 2021. – V. 9 (12). – P. e3993.
37. Ensaf F. The efficacy of color duplex sonography in preoperative assessment of anterolateral thigh flap / F. Ensaf, M. Babl, C. Conz et al. // *Microsurgery.* – 2012. – V. 32 (8). – P. 605-610.
38. Fang Y. Case Report: Superficial Circumflex Iliac Artery Perforator Flap for Tongue Reconstruction Following the Hemiglossectomy / Y. Fang, Q. Ouyang, Z. Zheng, J. Wang // *Front Surg.* – 2021. – V. 8. – P. 692331.
39. Feng S. A prospective head-to-head comparison of color Doppler ultrasound and computed tomographic angiography in the preoperative planning of lower extremity perforator flaps / S. Feng, P. Min, L. Grasseti et al. // *Plast Reconstr Surg.* – 2016. – V. 137. – P. 335-347.
40. Frank K. Improving the Safety of DIEP Flap Transplantation: Detailed Perforator Anatomy Study Using Preoperative CTA / K. Frank, A. Ströbel, I. Ludolph et al. // *J. Pers. Med.* – 2022. – V. 12. – P. 701.
41. Gillis J. A. Three-dimensional printing of perforator vascular anatomy / J. A. Gillis, S. F. Morris // *Plast Reconstr Surg.* – 2014. – V. 133 (1). – P. 80e-82e.

42. Godbout E. Donor-site morbidity of the inferior gluteal artery perforator flap for breast reconstruction in teenagers / E. Godbout, L. Farmer, P. Bortoluzzi, L. Caouette Laberge // *Can J Plast Surg.* – 2013. – V. 21 (1). – P. 19-22.
43. Goetze E. Integration of Perforator Vessels in CAD/CAM Free Fibula Graft Planning: A Clinical Feasibility Study / E. Goetze, P. W. Kämmerer, B. Al-Nawas, M. Moergel // *J Maxillofac Oral Surg.* – 2020. – V. 19 (1). – P. 61-66.
44. Hassani A. Staged reconstruction of hemimaxillectomy defect: Application of buccal fat pad flap, iliac bone graft and implant-supported dental prostheses / A. Hassani, M. Hasheminasab, N. Nikparto, L. K. Hakim // *Clin Case Rep.* – 2020. – V. 8 (12). – P. 2763-2768.
45. He Y. Medial sural artery perforator flap aided by preoperative computed tomography angiography mapping for tongue reconstruction / Y. He, S. F. Jin, C. P. Zhang, Z. Y. Zhang // *Int J Oral Maxillofac Surg.* – 2014. – V. 43. – P. 1064-1068.
46. He Y. Superficial circumflex iliac artery perforator flap: identification of the perforator by computed tomography angiography and reconstruction of a complex lower lip defect / Y. He, Z. Tian, C. Ma, C. Zhang // *Int J Oral Maxillofac Surg.* – 2015. – V. 44 (4). – P. 419-423.
47. Heneweer C. An Innovative Approach for Preoperative Perforator Flap Planning Using Contrast-enhanced B-flow Imaging / C. Heneweer, M. Zirk, A. Safi et al. // *PRS - Global Open.* – 2021. – V. 9 (5). – P. e3547.
48. Hennessy O. Use of infrared thermography for the assessment of free flap perforators in autologous breast reconstruction: A systematic review / O. Hennessy, S. M. Potter // *JPRAS Open.* – 2020. – V. 23. – P. 60-70.
49. Horta R. The Facial Artery Perforator Flap as a New Option for Reconstruction of Intraoral Defects: Surgical Tips and Clinical Series / R. Horta, D. Barreiro, R. Nascimento, A. Silva // *J Craniofac Surg.* – 2019. – V. 30 (5). – P. 1525-1528.

50. Huang J.-W. A Novel Endoscopic-Assisted Harvesting of Pedicled Freestyle Fasciocutaneous Flaps / J.-W. Huang, Y.-Y. Lin, N.-Y. Wu, D.H.-T. Yen // *Medicine*. – 2015. – V. 94 (8). – P. e592.
51. Ibrahim R. M. Color Doppler ultrasonography targeted reconstruction using pedicled perforator flaps – a systematic review and meta-analysis / R. M. Ibrahim, G. L. Gunnarsson, J. Akram et al. // *Eur J Plast Surg*. – 2018. – V. 41 (5). – P. 495-504.
52. Imaizumi A. Perforator Branch Flaps / A. Imaizumi, H. Kadota // *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. – 2020. – V. 73 (7). – P. 1255-1262.
53. Ismail M. B. Reconstruction of large mandibular bone defects extended to the condyle using patient-specific implants based on CAD-CAM technology and 3D printing / M. B. Ismail, K. Darwich // *Advances in Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2022. – V. 5. – P. 100229.
54. Jaiswal D. Free anteromedial thigh perforator flap: Complementing and completing the anterolateral thigh flap/ D. Jaiswal, A. Ghalme, P. Yadav et al. // *Indian J Plast Surg*. – 2017. – V. 50 (1). – P. 16-20.
55. Jakubietz R. Complex Soft Tissue Defects in Operative Urology: Pedicled Perforator Flaps of the Anterior Lateral Thigh for Tissue Reconstruction of the Lower Trunk / R. Jakubietz, M. Jakubietz, A. Vater et al. // *Urol Int*. – 2021. – V. 105 (5-6). – P. 477-482.
56. Jimson S. Residual Deformities of the Maxillofacial Region / S. Jimson // *Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician*. – 2021. – P. 1303-1339.
57. Kehrer A. Feasibility study of preoperative microvessel evaluation and characterization in perforator flaps using various modes of color-coded duplex sonography (CCDS) / A. Kehrer, D. Lonic, P. Heidekrueger et al. // *Microsurgery*. – 2020. – V. 40 (7). – P. 750-759.
58. Kehrer A. High-Resolution Ultrasound-Guided Perforator Mapping and Characterization by the Microsurgeon in Lower Limb Reconstruction / A.

Kehrer, P. I. Heidekrueger, D. Lonic et al. // *J Reconstr Microsurg.* – 2021. – V. 37 (1). – P. 75-82.

59. Khoong Y. M. Imaging for thinned perforator flap harvest: current status and future perspectives / Y. M. Khoong, X. Huang, S. Gu, T. Zan // *Burns & Trauma.* – 2021. – V. 9. – P. tkab042.

60. Kim S. R. Microvascular reconstruction for maxillofacial defects: a retrospective analysis of outcomes and complications in 121 consecutive cases / S. R. Kim, D.-H. Lee, K.-M. Ahn // *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* – 2020. – V. 42 (1). – P. 29.

61. Konoeda H. A trial to visualize perforators images from CTA with a tablet device: experience of operating on minipigs / H. Konoeda, M. Uematsu, N. Jumxiao et al. // *Comput Assist Surg (Abingdon).* – 2022. – V. 27 (1). – P. 120-127.

62. Kumbla P. A. Use of the Keystone Perforator Flap Closure for the Anterolateral Thigh Free Flap Donor Site / P. A. Kumbla, A. Q. Thorburn, S. Makwana et al. // *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction Open.* – 2021. – V. 6.

63. Lauritzen E. Use of Indocyanine Green Angiography decreases the risk of complications in autologous- and implant-based breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis / E. Lauritzen, T. E. Damsgaard // *JPRAS.* – 2021. – V. 74 (8). – P. 1703-1717.

64. Lee J. W. Preoperative Identification of a Perforator Using Computed Tomography Angiography and Metal Clip Marking in Perforator Flap Reconstruction / J. W. Lee, H. K. Kim, S. R. Kim et al. // *Arch Plast Surg.* – 2015. – V. 42. – P. 78-83.

65. Lee K. J. Usefulness of Color Doppler Ultrasonography for the Preoperative Evaluation of Thin Anterolateral Thigh Flap Perforators / K. J. Lee, I. Park, S. Y. Roh et al. // *Archives of Hand and Microsurgery.* – 2021. – V. 26 (4). – P. 270-275.

66. Leung R. In-Vivo Quantitative Mapping of the Perforasomes of Deep Inferior Epigastric Artery Perforators / R. Leung, M. P. Chae, V. Tobin et al. // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2018. – V. 6 (10). – P. e1960.
67. Lewis C. J. Morbidity of donor flaps from the lower limbs / C. J. Lewis, J. Callear, D. B. Saleh // *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2018. – V. 56. – P. 766-768.
68. Li K. Application of Indocyanine Green in Flap Surgery: A Systematic Review / K. Li, Z. Zhang, F. Nicoli et al. // *J Reconstr Microsurg*. – 2018. – V. 34. – P. 77-86.
69. Li J. Complicated intraoral defects: reconstruction using a three-paddle perforator free flap. A case report / J. Li, Song P., Yang D. et al. // *Br J Oral Maxillofac Surg*. – 2020. – V. 58 (3). – P. 355-357.
70. Lim H.-K. Reconstruction of maxillofacial bone defects using patient-specific long-lasting titanium implants / H.-K. Lim, Y.-J. Choi, W.-C. Choi et al. // *Sci Rep*. – 2022. – V. 12 (1). – P. 7538.
71. Liu A. Facial Defect Repair Using a Flap Based on the Superficial Temporal Artery / A. Liu, X. Su, Y. Jiao et al. // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2021. – V. 9 (4). – P. e3541.
72. Low O.-W. A Review of Pedicled Perforator Flaps for Reconstruction of the Soft Tissue Defects of the Leg and Foot / O.-W. Low, S. J. Sebastin, A. E. J. Cheah // *Indian J Plast Surg*. – 2019. – V. 52 (1). – P. 26-36.
73. Lu D. Anatomic symmetry of anterolateral thigh flap perforators: a computed tomography angiographic study / D. Lu, P. Chan, S. Ferris et al. // *ANZ J Surg*. – 2019. – V. 89 (5). – P. 584-588.
74. Martínez J. G. Preoperative Vascular Planning of Free Flaps: Comparative Study of Computed Tomographic Angiography, Color Doppler Ultrasonography, and Hand-Held Doppler / J. G. Martínez, A. T. Pérez, M. G. Vega, T. Nuñez-Villaveiran // *Plast Reconstr Surg*. – 2020. – V. 146. – P. 227-237.

75. Mendieta M. Perforator Propeller Flaps for the Coverage of Middle and Distal Leg Soft-tissue Defects / M. Mendieta, R. Cabrera, A. Siu et al. // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2018. – V. 6 (5). – P. e1759.
76. Miranda B. H. A preoperative marking template for deep inferior epigastric artery perforator flap perforators in breast reconstruction / B. H. Miranda, M. Pywell, D. Floyd // *Arch Plast Surg*. – 2014. – V. 41 (2). – P. 171-173.
77. Mitchener T. A. Causes of Oral–Maxillofacial Injury of U.S. Military Personnel in Iraq and Afghanistan, 2001–2014 / T. A. Mitchener, N. E. Dickens, J. W. Simecek // *Military Medicine*. – 2018. – V. 183 (3-4). – P. e219-e224.
78. Mochizuki Y. New simple image overlay system using a tablet PC for pinpoint identification of the appropriate site for anastomosis in peripheral arterial reconstruction / Y. Mochizuki, A. Hosaka, H. Kamiuchi et al. // *Surg Today*. – 2016. – V. 46 (12). – P. 1387-1393.
79. Nanno M. Color Doppler ultrasound assessment for identifying perforator arteries of the second dorsal metacarpal flap / M. Nanno, N. Kodera, Y. Tomori et al. // *J Orthop Surg (Hong Kong)*. – 2017. – V. 25 (1). – P. 2309499016684744.
80. Nguyen H. L. Superficial circumflex iliac artery perforator flap for tongue reconstruction after hemiglossectomy for cancer: A case report / H. L. Nguyen, T. P. M. Ho, X. P. Tran, T. X. Nguyen // *Oral and Maxillofacial Surgery Cases*. – 2021. – V. 7 (2). – P. 100219.
81. Niazi T. M. Prevalence and pattern of adult maxillofacial injuries: An institution-based retrospective study / T. M. Niazi, A. K. Subramanian, C. Diana et al. // *J Pharm Bioall Sci*. – 2020. – V. 12 (5). – P. 472-479.
82. O'Connor E. F. Preoperative computed tomography angiography for planning DIEP flap breast reconstruction reduces operative time and overall complications / E. F. O'Connor, W. M. Rozen, M. Chowdhry et al. // *Gland Surg*. – 2016. – V. 5 (2). – P. 93-98.

83. Ogunleye A. A. The utility of three-dimensional models in complex microsurgical reconstruction / A. A. Ogunleye, P. L. Deptula, S. M. Inchauste et al. // *Arch Plast Surg.* – 2020. – V. 47 (5). – P. 428-434.
84. Ogunrinde T. J. Prosthodontic rehabilitation of maxillofacial defects in a nigerian teaching hospital: a 9-year review / T. J. Ogunrinde, Ajayi D. M., O. O. Dosumu et al. // *Ann Ib Postgrad Med.* – 2020. – V. 18 (2). – P. 146-151.
85. Ono S. Imaging Studies for Preoperative Planning of Perforator Flaps: An Overview / S. Ono, H. Hayashi, H. Ohi, R. Ogawa // *Clin Plastic Surg.* – 2017. – V. 44. – P. 21-30.
86. Ono S. Imaging in Propeller Flap Surgery / S. Ono, H. Ohi, R. Ogawa // *Semin Plast Surg.* – 2020. – V. 34 (3). – P. 145-151.
87. Opsomer D. Donor Site Morbidity after Lumbar Artery Perforator Flap Breast Reconstruction / D. Opsomer, T. Vyncke, M. Ryx et al. // *J Reconstr Microsurg.* – 2021.
88. Orgill D. P. Local Skin Flaps for Lower Extremity Wounds / D. P. Orgill, A. Atia, S. T. Hollenbeck // *Handbook of Lower Extremity Reconstruction.* – 2020. – P. 115-127.
89. Park S.-J. The Use of Magnetic Resonance Imaging in Planning a Pedicled Perforator Flap for Pressure Sores in the Gluteal Region / S.-J. Park, K.-T. Lee, B.-J. Jeon, K.-J. Woo // *Int J Low Extrem Wounds.* – 2018. – V. 17 (2). – P. 106-112.
90. Pereira N. Detection of Perforators for Free Flap Planning Using Smartphone Thermal Imaging: A Concordance Study with Computed Tomographic Angiography in 120 Perforators / N. Pereira, D. Valenzuela, G. Mangelsdorff et al. // *Plast Reconstr Surg.* – 2018. – V. 141 (3). – P. 787-792.
91. Pereira N. Augmented Reality Microsurgical Planning with a Smartphone (ARM-PS): A dissection route map in your pocket / N. Pereira, M. Kufeke, L. Parada et al. // *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* – 2019. – V. 72 (5). – P. 759-762.

92. Prakash P. Maxillofacial Defects: Impact on Psychology and Esthetics / P. Prakash, R. Bahri, S. K. Bhandari // *Beauty - Cosmetic Science, Cultural Issues and Creative Developments*, edited by M.P. Levine and J.S. Santos. – 2021.
93. Rahman F. The use of the superior gluteal artery perforator flap to cover sacral defects / F. Rahman, A. Haider, M. A. Ahsan // *Clin Case Rep Rev.* – 2018. – V. 4 (4). – P. 1-4.
94. Renzulli M. Preoperative computed tomography assessment for a deep inferior epigastric perforator (DIEP) flap: a new easy technique from the Bologna experience / M. Renzulli, A. Clemente, S. Brocchi et al. // *Acta Radiol.* – 2021. – V. 62 (10). – P. 1283-1289.
95. Rodkin B. A review of visualized preoperative imaging with a focus on surgical procedures of the breast / B. Rodkin, D. J. Hunter-Smith, W. M. Rozen // *Gland Surg.* – 2019. – V. 8 (Suppl 4). – P. S301-S309.
96. Ronen G. Computed tomography angiography (CTA) assisted preoperative planning and volume calculation of deep inferior epigastric artery perforator (DIEP) flap for breast reconstruction / G. Ronen, A. Blachar, A. Abelow et al. // *Eur J Plast Surg.* – 2017. – V. 40. – P. 441-446.
97. Rozen W. M. How to assess a CTA of the abdomen to plan an autologous breast reconstruction / W. M. Rozen, H. K. Bhullar, D. Hunter-Smith // *Gland Surg.* – 2019. – V. 8 (Suppl 4). – P. S291-S296.
98. Sandberg L. J. Tracing: A Simple Interpretation Method for the DIEP Flap CT Angiography to Help Operative Decision-making / L. J. Sandberg // *Plast Reconstr Surg Glob Open.* – 2020. – V. 8 (11). – P. e3218.
99. Scaglioni M. F. Perforator propeller flaps in lower limb reconstruction: a literature review and case reports / M. F. Scaglioni, A. Macek // *Plast Aesthet Res.* – 2019. – V. 6. – P. 27.
100. Schiltz D. Do-It-Yourself Preoperative High-Resolution Ultrasound-Guided Flap Design of the Superficial Circumflex Iliac Artery Perforator Flap (SCIP) / D. Schiltz, J. Lenhard, S. Klein et al. // *J. Clin. Med.* – 2021. – V. 10 (11). – P. 2427.

101. Shahabuddin S. F. A Study of Clinical Applications of Perforator-Based Propeller Flaps in Leg Reconstructive Surgery: A Single-Center Experience of 40 Cases / S. F. Shahabuddin, M. F. Khurram // *The International Journal of Lower Extremity Wounds*. – 2020. – V. 19 (1). – P. 70-77.

102. Shen Y. Perforator navigation using color Doppler ultrasound and three-dimensional reconstruction for preoperative planning of optimal lateral circumflex femoral artery system perforator flaps in head and neck reconstruction / Y. Shen, L.-G. Lu, D. W. Low et al. // *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. – 2019. – V. 72 (6). – P. 990-999.

103. Soliman H. H. Efficacy of perforator CTA of deep inferior epigastric artery perforator flap in preoperative planning of breast reconstruction: comparative study with CDUS / H. H. Soliman, M. F. Abozeid, M. A. Moustafa // *EJRNM*. – 2020. – V. 51. – P. 1-8.

104. Sonda R. Deep inferior epigastric perforator flap preoperative planning: A comparative analysis between dynamic infrared thermography, computerized tomography angiography, and hand-held Doppler / R. Sonda, L. Pandis, F. Bassetto et al. // *Microsurgery*. – 2022.

105. Sotsuka Y. A Perforator Model as an Aid to Elevate Deep Inferior Epigastric Perforator Flap / Y. Sotsuka, K. Matsuda, K. Fujita et al. // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2015. – V. 3 (7). – P. e462.

106. Steenbeek L. M. Alternative imaging technologies for perforator mapping in free flap breast reconstructive surgery – a comprehensive overview of the current literature / L. M. Steenbeek, K. Peperkamp, D.J.O. Ulrich, H. Stefan // *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. – 2022.

107. Steiner S. A. Abdominal, perineal, and genital soft tissue reconstruction with pedicled anterolateral thigh perforator flaps / S. A. Steiner, R. Schweizer, H. Klein et al. // *European Journal of Plastic Surgery*. – 2021. – V. 44. – P. 669-677.

108. Stekelenburg C. M. The hand held Doppler device for the detection of perforators in reconstructive surgery: what you hear is not always what you get / C.

M. Stekelenburg, P. M. Sonneveld, M. B. Bouman et al. // *Burns: Journal of the International Society for Burn Injuries*. – 2014. – V. 40 (8). – P. 1702-1706.

109. Su W. Contrast-enhanced ultrasound combined with three-dimensional reconstruction in preoperative perforator flap planning / W. Su, L. Lu, D. Lazzeri et al. // *Plast Reconstr Surg*. – 2013. – V. 131 (1). – P. 80-93.

110. Tenekeci G. *Perforator Flaps: Principles and Techniques* / G. Tenekeci // *Issues in Flap Surgery*, edited by Sherif Amr. – 2017.

111. Thimmappa N. Preoperative cross-sectional mapping for deep inferior epigastric and profunda artery perforator flaps/ N. Thimmappa, A. P. Bhat, K. Bishop et al. // *Cardiovasc Diagn Ther*. – 2019. – V. 9 (Suppl 1). – P. S131-S142.

112. Tian Z. Comparative Study of Three Preoperative Imaging Modalities for the Evaluation and Design of Superficial Circumflex Iliac Artery Perforator Flap: Color Doppler Ultrasound, Computed Tomography Angiography and Magnetic Resonance Angiography / Z. Tian, S. Wang, Y. He, C. Ma // *Iranian Journal of Radiology*. – 2020. – V.17 (3). – P. e97168.

113. Van Den Hoven P. Quantification of near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green in free flap breast reconstruction / P. Van Den Hoven, P. S. Verduijn, L. Van Capelle et al. // *JPRAS*. – 2022.

114. Vegas M. R. Computed Tomography Angiography, Perforator Flaps, the Surgeon, and Osirix / M. R. Vegas // *Cureus*. – 2013. – V. 5 (6). – P. e125.

115. Visconti G. Thin and superthin perforator flap elevation based on preoperative planning with ultrahigh-frequency ultrasound / G. Visconti, A. Bianchi, A. Hayashi et al. // *Arch Plast Surg*. – 2020. – V. 47 (4). – P. 365-370.

116. Vogt P. M. Complex facial reconstruction with invasive and non-invasive conventional interventions / P. M. Vogt, L. Awwad, R. Ipaktchi, N. Krezdorn // *JPRAS Open*. – 2019. – V. 19. – P. 19-23.

117. Wade R. G. Perforator mapping reduces the operative time of DIEP flap breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis of preoperative ultrasound, computed tomography and magnetic resonance angiography / R. G.

Wade, J. Watford, J. C. R. Wormald et al. // *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* – 2018. – V. 71 (4). – P. 468-477.

118. Wang K.-C. Comparison of flap outcomes between single- and multiple-perforator-based free anterolateral thigh flap in head and neck reconstruction / K.-C. Wang, C.-C. Tsai, C.-H. Chang et al. // *Microsurgery.* – 2019. – V. 39 (2). – P. 150-155.

119. Wolff K.-D. Perforator flaps from the lower leg for intraoral reconstruction: Experience of 131 flaps / K.-D. Wolff, A. Rau, A. Kolk // *J Craniomaxillofac Surg.* – 2018. – V. 46 (2). – P. 338-345.

120. Wong K. K. CTA in preoperative planning for DIEP breast reconstruction: what the reconstructive surgeon wants to know. A modified Delphi study / K. K. Wong, E. Stubbs, M. McRae, M. McRae // *Clin Radiol.* – 2019. – V. 74 (12). – P. 973.e15-973.e26.

121. Wu B. Case Report: A Preferred Reconstructing Modality to Restore Neoplastic Nasal Alar Subunit Defects: Sequential Facial Artery Perforator Flaps / B. Wu, S. Yang, H. Li et al. // *Front Surg.* – 2022. – V. 8. – P. 796990.

122. Wu C.-W. Comparison of Detection of Superior Gluteal Artery Perforator by Indocyanine Green Fluorescence Near-Infrared ANGIOGRAPHY and Handheld Acoustic Doppler Sonography for Reconstruction of Sacral Pressure Injury / C.-W. Wu, H.-H. Liu, C.-Y. Chen et al. // *J Pers Med.* – 2022. – V. 12 (2). – P. 132.

123. Wusiman P. Epidemiology and Pattern of Oral and Maxillofacial Trauma / P. Wusiman, B. Maimaitituerxun, Guli // *J Craniofac Surg.* – 2020. – V. 31 (5). – P. e517-e520.

124. Yang S. F. The value of multidetector row computed tomography angiography for preoperative planning of freestyle pedicled perforator flaps / S. F. Yang, C. M. Wang, S. Ono et al. // *Ann Plast Surg.* – 2016. – V. 77 (6). – P. 669-673.

125. Yang R. Application of chimerical ALT perforator flap with vastus lateralis muscle mass for the reconstruction of oral and submandibular defects after

radical resection of tongue carcinoma: a retrospective cohort study / R. Yang, X. Wu, P. A. Kumar et al. // BMC Oral Health. – 2020. – V. 20 (1). – P. 94.

126. Yamamoto T. Definition of perforator flap: what does a "perforator" perforate? / T. Yamamoto, N. Yamamoto, T. Kageyama et al. // Glob Health Med. – 2019. – V. 1 (2). – P. 114-116.

127. Yao X. Y. Reconstruction of composite oral and maxillofacial defects by free flaps based on a new classification / X. Y. Yao, H. Liu, W. W. Liu // Sci Rep. – 2020. – V. 10 (1). – P. 4300.

128. Yodrbum N. Precision of Low-Cost Augmented Reality in Prefabricated Cutting Guide for Fibular Free Flap Surgery / N. Yodrbum, K. Rudeejaroonrung, I. Chaikangwan et al. // J Craniofac Surg. – 2022. – V. 33 (3). – P. 916-919.

129. Zhang W. A systematic review and meta-analysis of perforator flaps in plantar defects: Risk analysis of complications / W. Zhang, X. Li, X. Li // Int Wound J. – 2021. – V. 18 (4). – P. 525-535.

130. <https://radiologykey.com/indocyanine-green-fluorescence-navigated-sentinel-node-biopsy-showed-higher-sensitivity-than-the-conventional-radioisotope-or-blue-dye-methods-it-may-help-to-reduce-false-negative-sentinel-lymph-node/#CR23>.