



ПРОДОЛЖЕННОЕ МЕДИЦИНСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Обзорная статья

УДК 616-71

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-4-57-69>

Методы визуализации перфорантных сосудов при предоперационном планировании перфорантного лоскута (обзор литературы)

А. А. Трефилов*¹, Е. В. Крюков², В. Н. Троян¹, С. В. Терещук¹,
В. А. Сухарев¹, И. А. Асеева¹, Е. В. Гайдукова

¹ ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко»
Минобороны России, Москва

² ФГБВО УВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Минобороны России,
Санкт-Петербург

Реферат

Предоперационное выявление перфорантных сосудов при планировании перфорантных лоскутов является актуальной проблемой в клинической практике. Существуют различные методы, позволяющие визуализировать расположение перфорантных сосудов. В данном обзоре представлены основные из этих методов с описанием их возможностей, преимуществ и ограничений, а также описаны приоритеты использования того или иного подхода в зависимости от локализации донорского участка.

Ключевые слова: компьютерно-томографическая ангиография, ультразвуковое исследование с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием, перфорантные лоскуты.

Финансирование исследования и конфликт интересов

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают ответственность своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли суще-

* **Трефилов Александр Александрович**, заведующий рентгеновским отделением ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации. Адрес: 105094, г. Москва, Госпитальная пл., д. 3. Тел.: +7 (499) 263-55-55. Электронная почта: trefys@mail.ru ORCID.org/0000-0002-9885-5829

Trefilov Aleksandr Aleksandrovich, Head of the X-ray Department of the Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia. Address: 3, Gospitalnaya pl., Moscow, 105094, Russia. Tel.: +7 (499) 263-55-55. E-mail: trefys@mail.ru ORCID.org/0000-0002-9885-5829

© А. А. Трефилов, Е. В. Крюков, В. Н. Троян, С. В. Терещук, В. А. Сухарев, И. А. Асеева, Е. В. Гайдукова.

ственный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

THE CONTINUED MEDICAL EDUCATION

Review article

Methods of Perforator Vessels Visualization in Perforator Flap Preoperative Planning (Literature Review)

A. A. Trefilov^{*1}, E. V. Kryukov², V. N. Troyan¹, S. V. Tereshchuk¹,
V. A. Suharev¹, I. A. Aseeva¹, E. V. Gaydukova¹

¹Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia, Moscow

²S. M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg

Abstract

Preoperative detection of perforator vessels in the perforator flap planning is an actual problem in clinical practice. There are various methods to visualize the localization of perforator vessels. This review presents the main of these methods with a description of their capabilities, advantages and limitations, as well as describes the priorities for using one or another approach depending on the localization of the donor site.

Key words: Computed Tomographic Angiography, Ultrasound with Color Doppler and Duplex Scanning, Perforator Flaps.

Research funding and conflict of interest

The study was not funded by any sources. The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Актуальность

Перфорантные лоскуты широко используются в медицине при устранении различных кожных дефектов в силу того, что они существенно облегчают и ускоряют проведение реконструктивных операций, снижают болезненность на донорском участке и анатомически хорошо подходят для реципиентного участка [11]. При планировании перфорантного лоскута перед проведением операции крайне важно как можно точнее определить топографо-анатоми-

ческие особенности соответствующих перфорантных сосудов, поскольку от этого зависит жизнеспособность лоскута [3]. 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 [1]. Выбор метода для более точного определения локализации перфорантного сосуда зависит от конкретного донорского участка [3, 17].

Цель: проанализировать результаты научных исследований, посвященных описанию возможностей и ограничений различных методов лучевой диагностики перфорантных сосудов.

Использование перфорантных лоскутов в ходе реконструктивных операций имеет цель не только в восстановлении функциональной активности реципиентной области, но и в сохранении эстетического вида как реципиентной, так и донорской зон [7, 16]. В связи с этим большое значение имеет предоперационное планирование перфорантного лоскута, а именно визуализация особенностей строения и хода перфорантного сосуда, для увеличения скорости проведения операции, ее безопасности и эффективности, а также уменьшения размеров рубца на донорском участке [7]. Для этого существует большое количество диагностических методов исследования.

Методы выявления перфорантных сосудов

Для визуализации перфорантных сосудов применяются следующие методы:

а) методы лучевой диагностики:

- портативная акустическая доплеровская сонография (АДС) и ультразвуковое исследование (УЗИ) с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием;
- компьютерно-томографическая ангиография (КТА);
- магнитно-резонансная ангиография (МРА);

б) метод термографии;

в) метод индоцианиновой зеленой флуоресцентной ангиографии (ИЦЗФА) в ближней инфракрасной (ИК) области.

АДС является относительно недорогим, портативным, простым в эксплуатации, неинвазивным методом, который не требует воздействия ионизирующего излучения [11]. Однако в ряде работ показано, что выявление пер-

форантного сосуда с помощью данного метода часто приводит к ложноположительным результатам, что неприемлемо при предоперационном планировании лоскута. Такая низкая эффективность АДС обусловлена тем, что доплеровский зонд (8 МГц) способен обнаружить только те сосуды, которые расположены на расстоянии до 20 мм от поверхности кожи. В случае когда кожа и подкожная клетчатка пациента достаточно толстые, визуализировать точное местоположение и ход перфорантного сосуда весьма сложно. Помимо этого, неспецифичность обнаружения перфорантного сосуда с помощью АДС связана с тем, что данный метод улавливает фоновый шум от близлежащих сосудов. С помощью АДС невозможно получить изображение сосуда, в результате чего исследователь никогда не знает, какие именно сосуды он детектирует. Например, может оказаться, что выявленный перфорантный сосуд слишком мал, чтобы сохранить жизнеспособность лоскута. Таким образом, АДС может быть полезна лишь при скрининге как дополнительный инструмент совместно с КТА или МРА [10].

Ультразвуковое исследование с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием получило широкое распространение при планировании перфорантного лоскута, поскольку позволяет визуализировать сосуды по сравнению с АДС. В современных аппаратах УЗИ есть различные режимы для визуализации кровеносных сосудов и получения необходимой информации о них. В сравнительной работе Kehrer и соавт. (2021) было показано, что наиболее эффективными среди данных режимов являются цветовая доплерография, импульсно-волновой доплер и визуализация в В-flow режиме. При этом авторы отдают предпочтение УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием для выявления перфорантных сосудов при предоперационном планировании

перфорантных лоскутов. Данный метод активно используется и на практике [7]. УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием позволяет выявить расположение перфорантного сосуда, его диаметр, а также направление кровотока в нем. Кроме того, с его помощью можно получить гемодинамическую информацию о перфорантном сосуде. Важно также отметить, что УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием удовлетворяет основным требованиям при планировании перфорантных лоскутов – является неинвазивной и относительно простой техникой для визуализации перфорантных сосудов [6]. Однако исследование маловоспроизводимо при динамическом контроле из-за проведения в режиме реального времени, не позволяет хирургам обмениваться трехмерными изображениями сосудов и предоставляет информацию о перфорантном сосуде лишь в ограниченной области. Помимо этого, УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием не дает полной картины относительно прилегающих анатомических ориентиров на одном изображении. Таким образом, некоторые исследователи рекомендуют ограничить применение УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием для визуализации перфорантных сосудов отдельными случаями, такими как его использование для пациентов с металлическими имплантатами, аллергией на контрастное вещество или почечной недостаточностью [11].

Для повышения эффективности УЗИ при предоперационном исследовании перфорантных сосудов было предложено использовать методики цветового доплеровского и дуплексного сканирования, а также B-flow визуализации с применением контрастного усиления. Введение ультразвуковых контрастных веществ позволяет избежать таких артефактов, как наложение

одних объектов на другие или размытость. Кроме того, данный подход повышает чувствительность ультразвукового метода к мелким сосудам, что делает возможным картирование перфорантов на супрафасциальном уровне. И наконец, 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 B-flow визуализации с контрастным усилением невозможно получить трехмерное изображение исследуемой области из-за необходимости обработки большого объема данных [4, 8].

В последние годы появляются исследования, описывающие такой подход для выявления перфорантных сосудов, как ультравысокочастотное (УВЧ) УЗИ. Если для стандартного УЗИ используют датчики 5–20 МГц, то для УВЧ УЗИ могут быть использованы датчики вплоть до 70 МГц. УВЧ УЗИ позволяет визуализировать микроанатомические структуры до 30 мкм, предоставляя более подробную информацию о микрососудах и подкожной анатомии, чем УЗИ. Как следствие, с помощью УВЧ УЗИ можно проследить перфорантный сосуд до самого проникновения в дерму. УВЧ УЗИ считается весьма перспективной методикой для анализа сосудов при планировании тонкого перфорантного лоскута. Данный метод выступает в качестве дополнительного. Так, при предоперационном планировании перфорантного лоскута сначала проводят картирование донорского участка с помощью 18-мегагерцевого зонда 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 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 [8, 19].

КТА позволяет выявлять небольшие перфорантные сосуды диаметром от 0,3 до 0,5 мм. Многие исследователи отмечают преимущества использования КТА в клинике при предоперационном определении и визуализации перфорантных сосудов [14, 17, 20]. Данный метод позволяет получать подробные изображения перфорантов, 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 васкуляризованного лоскута для трансплантации [14]. 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 интенсивно-

сти и в объемном (3D) виде [17]. 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 [14]. Тем не менее у КТА присутствуют и недостатки, такие как воздействие ионизирующего излучения и использование потенциально нефротоксичного контрастного вещества.

Многие хирурги для предоперационного планирования перфорантных лоскутов предпочитают использовать КТА, поскольку считается, что она обладает большей эффективностью в отличие от УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием [2]. Однако существуют немногочисленные работы, свидетельствующие о том, что в некоторых случаях исследование перфорантных сосудов методом УЗИ позволяет получить более подробную информацию, чем КТА. Так, Soliman и соавт. (2020) показали, что диаметр перфорантного сосуда, рассчитанный на основании данных, полученных с помощью КТА, отличается от истинного, измеренного в ходе операции. 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 [17]. Кроме того, Feng и соавт. (2016) продемонстрировали, что КТА не следует использовать для выявления перфорантных сосудов в нижних конечностях. Для данных целей больше подходит ультразвуковой метод, позволяющий с большей точностью определять их локализацию, размер и направленность. Данная особенность связана с анатомическим строением нижних конечностей, а именно с их относительно тонкой подкожно-жировой клетчаткой. Разрешение полу-

чаемого с помощью КТА изображения зависит от различия между плотностью контрастированного перфорантного сосуда и жировой ткани. Таким образом, 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 участка. Однако в зонах с менее выраженной жировой тканью эффективность КТА снижается, в результате чего изображение становится менее детализированным в отличие от такового, полученного с помощью УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием [3].

МРА была разработана для определения трехмерной анатомии перфорантных сосудов с точностью, близкой к таковой у КТА. При этом МРА имеет преимущество по сравнению с КТА, поскольку не требует воздействия рентгеновского излучения и может проводиться с использованием неионного контрастного вещества. Это делает ее более безопасным методом исследования для пациентов. Однако в сравнительных работах Rozen и соавт. (2009) было показано, что изображения перфорантных сосудов с диаметром менее 1 мм, полученные с помощью МРА, обладали меньшей точностью, чем в случае применения КТА. Стоит отметить, что даже при визуализации крупных сосудов (>1 мм) МРА изображения в некоторых случаях имели более низкое пространственное разрешение по сравнению с КТА. В результате это приводило к снижению эффективности обнаружения перфорантных сосудов. Кроме того, для применения МРА существуют такие противопоказания, как имплантированные металлические устройства или кардиостимуляторы. Таким образом, на данный момент КТА превосходит МРА в точности выявления перфо-

рантных сосудов, особенно небольших размеров [11, 15].

Термография представляет собой простой, портативный и доступный метод, в малой степени зависящий от конкретного исследователя, который может быть использован при предоперационном планировании и послеоперационном мониторинге жизнеспособности перфорантного лоскута. 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 получаются с помощью тепловизионной камеры, которую можно установить на обычный смартфон [5]. Данный подход позволяет обнаружить ИК излучение, испускаемое объектом. При этом участки кожи с более высокой температурой соответствуют областям с большей локальной васкуляризацией, известным как «горячие точки». Однако термография обладает рядом ограничений. Во-первых, данный метод позволяет получать информацию только о расположении перфорантного сосуда, а не о его ходе, ветвлении и диаметре. Во-вторых, информация предоставляется в виде поверхностной двумерной 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 [13]. 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, пропущены при планировании лоскута. Еще одно ограничение, связан-

ное с термографической визуализацией, заключается в контроле температурных помех от окружающей кожи. Температура кожи может колебаться в пределах вплоть до ± 8 °C 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 серьезные 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 является широкодоступным подходом – мало кто обучен ее использованию. Хотя это может измениться по мере того, как технология будет становиться все более доступной. Термография на базе смартфонов, в частности, обещает стать легкодоступной и недорогой версией данного метода, однако она потребует регулирования в отношении соблюдения принципов защиты данных [5, 13].

При исследовании перфорантных сосудов с помощью ИЦЗФА 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 [8]. Свет с длиной волны около 800 нм (ближний инфракрасный диапазон) мало погло-

щается 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 [9]. В связи с этим можно сделать вывод, что данный метод подходит для выявления перфорантных сосудов при предоперационном планировании перфорантного лоскута. 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 [18]. 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 [9]. Несмотря на то что сообщений об анафилактических реакциях на индоцианин зеленый было очень мало, его рекомендуется использовать с осторожностью. В настоящее время ИЦЗФА описывается как подход, позволяющий оценить перфузию тканей при планировании перфорантного лоскута для реконструкции груди после мастэктомии. Интраоперационное использование ИЦЗФА способно помочь хирур-

гам оценить жизнеспособность кожного лоскута, тем самым снизив вероятность развития некроза. 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 [18].

Заключение

Использование перфорантных лоскутов для устранения различных дефектов широко применяется в медицине на протяжении многих лет. Поскольку эффективность приживления такого трансплантата во многом зависит от точности предоперационного выявления перфорантного сосуда и его особенностей, пристальное внимание было уделено методам лучевой диагностики, позволяющим визуализировать и детально изучить основные характеристики перфоранта, такие как локализация, диаметр и направление кровотока в нем.

Вследствие прогрессивного развития технологий в настоящее время существуют разнообразные подходы для визуализации перфорантных сосудов, каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками. В связи с этим продолжаются исследования по оптимизации имеющихся подходов с целью повышения их эффективности для предоперационного выявления перфорантов. Однако в клинике при планировании перфорантного лоскута преимущественно продолжают использоваться два метода визуализации перфорантных сосудов — УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием и КТА. Как правило, предпочтение отдается КТА, что связано с высокой точностью и детализацией получаемых с ее помощью изображений. Тем не менее не стоит забывать, что данный метод подходит не для всех пациентов из-за необходимости введения контрастного

вещества и воздействия ионизирующего излучения. Кроме того, работы последних лет свидетельствуют о том, что эффективность КТА при планировании перфорантного лоскута во многом зависит от конкретного донорского участка. В случае формирования трансплантата на основе кожного лоскута нижних конечностей КТА уступает УЗИ с цветовым доплеровским и дуплексным сканированием в разрешении получаемого изображения перфорантного сосуда.

Таким образом, несмотря на наличие большого количества методов предоперационной визуализации перфорантных сосудов, необходимо продолжать исследования по усовершенствованию имеющихся подходов, чтобы установить все возможные ограничения в их работе, а также сделать их наиболее эффективными и безопасными для пациентов.

Список литературы

1. *Чередниченко Н. О., Бадюл П. О., Слесаренко С. В., Куликова Ф. И.* Особенности визуализации перфорантных сосудов на этапе предоперационного планирования перфорантных лоскутов методом компьютерной томографии с ангиографией // Лучевая диагностика, лучевая терапия. 2017. № 1.
2. *Badiul P. O., Shliesarenko S. V.* Multidetector-row computed tomographic angiography in the planning of the local perforator flaps. *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open.* 2015. V. 22. P. e516.
3. *Feng S., Min P., Grassetti L., Lazzeri D., Sadigh P., Nicoli F., Torresetti M., Gao W., di Benedetto G., Zhang W., Zhang Y. X.* A prospective head-to-head comparison of color Doppler ultrasound and computed tomographic angiography in the preoperative planning of lower extremity perforator flaps. *Plast. Reconstr. Surg.* 2016. V. 137. P. 335–347.
4. *Heneweer C., Zirk M., Safi A., Smeets R., Malter W., Kröger N., Zöllner J., Maintz D., Zinser M.* An Innovative Approach for

- Preoperative Perforator Flap Planning Using Contrast-enhanced B-flow Imaging. *PRS – Global Open*. 2021. V. 9. No. 5. P. e3547.
5. *Hennessy O., Potter S. M.* Use of infrared thermography for the assessment of free flap perforators in autologous breast reconstruction: A systematic review. *JPRAS Open*. 2020. V. 23. P. 60–70.
 6. *Ibrahim R. M., Gunnarsson G. L., Akram J., Sorensen J. A., Thomsen J. B.* Color Doppler ultrasonography targeted reconstruction using pedicled perforator flaps – a systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Plast. Surg.* 2018. V. 41. No. 5. P. 495–504.
 7. *Kehrer A., Heidekrueger P. I., Lonic D., Taeger C. D., Klein S., Lamby P., Sachanadani N. S., Jung E. M., Prantl L., da Silva N. P. B.* High-Resolution Ultrasound-Guided Perforator Mapping and Characterization by the Microsurgeon in Lower Limb Reconstruction. *J. Reconstr. Microsurg.* 2021. V. 37. No. 1. P. 75–82.
 8. *Khoong Y. M., Huang X., Gu S., Zan T.* Imaging for thinned perforator flap harvest: current status and future perspectives. *Burns & Trauma*. 2021. V. 9. P. tkab042.
 9. *Li K., Zhang Z., Nicoli F., D'Ambrosia C., Xi W., Lazzeri D., Feng S., Su W., Li H., Ciudad P., Tremp M., Zhang Y. X.* Application of Indocyanine Green in Flap Surgery: A Systematic Review. *J. Reconstr. Microsurg.* 2018. V. 34. P. 77–86.
 10. *Martínez J. G., Pérez A. T., Vega M. G., Nuñez-Villaveiran T.* Preoperative Vascular Planning of Free Flaps: Comparative Study of Computed Tomographic Angiography, Color Doppler Ultrasonography, and Hand-Held Doppler. *Plast. Reconstr. Surg.* 2020. V. 146. P. 227–237.
 11. *Ono S., Hayashi H., Ohi H., Ogawa R.* Imaging Studies for Preoperative Planning of Perforator Flaps: An Overview. *Clin. Plastic. Surg.* 2017. V. 44. P. 21–30.
 12. *Orgill D. P., Atia A., Hollenbeck S. T.* Local Skin Flaps for Lower Extremity Wounds. *Handbook of Lower Extremity Reconstruction*. 2020. P. 115–127.
 13. *Pereira N., Valenzuela D., Mangelsdorff G., Kufeke M., Roa R.* Detection of Perforators for Free Flap Planning Using Smartphone Thermal Imaging: A Concordance Study with Computed Tomographic Angiography in 120 Perforators. *Plast. Reconstr. Surg.* 2018. V. 141. No. 3. P. 787–792.
 14. *Renzulli M., Clemente A., Brocchi S., Gelati C., Zanotti S., Pizzi C., Tassone D., Cappabianca S., Cipriani R., Golfieri R.* Preoperative computed tomography assessment for a deep inferior epigastric perforator (DIEP) flap: a new easy technique from the Bologna experience. *Acta. Radiol.* 2021. V. 62. No. 10. P. 1283–1289.
 15. *Rozen W. M., Stella D. L., Bowden J., Taylor G. I., Ashton M. W.* Advances in the pre-operative planning of deep inferior epigastric artery perforator flaps: magnetic resonance angiography. *Microsurgery*. 2009. V. 29. No. 2. P. 119–123.
 16. *Schiltz D., Lenhard J., Klein S., Anker A., Lonic D., Heidekrueger P. I., Prantl L., Jung E.-M., Da Silva N. P. B., Kehrer A.* Do-It-Yourself Preoperative High-Resolution Ultrasound-Guided Flap Design of the Superficial Circumflex Iliac Artery Perforator Flap (SCIP). *J. Clin. Med.* 2021. V. 10. P. 2427.
 17. *Soliman H. H., Abozeid M. F., Moustafa M. A.* Efficacy of perforator CTA of deep inferior epigastric artery perforator flap in preoperative planning of breast reconstruction: comparative study with CDUS. *EJRNM*. 2020. V. 51. P. 1–8.
 18. *Van Den Hoven P., Verduijn P. S., Van Capelle L., Tange F. P., Michi M., Corion L. U. M., Sibinga Mulder B. G., Mureau M. A. M., Vahrmeijer A. L., Van Der Vorst J. R.* Quantification of near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green in free flap breast reconstruction. *JPRAS*. 2022.
 19. *Visconti G., Bianchi A., Hayashi A., Cina A., Maccauro G., Almadori G., Salgarello M.* Thin and superthin perforator flap elevation based on preoperative planning

with ultrahigh-frequency ultrasound. *Arch. Plast. Surg.* 2020. V. 47. No. 4. P. 365–370.

20. Yang S. F., Wang C. M., Ono S., Xu W., Xu K.-Y., Pu L. L. Q. The value of multidetector row computed tomography angiography for preoperative planning of freestyle pedicled perforator flaps. *Ann. Plast. Surg.* 2016. V. 77. No. 6. P. 669–673.

References

1. Cherednichenko N. O., Badiul P. O., Slesarenko S. V., Kulikova F. I. Features of perforating vessels visualization at the stage of preoperative planning of perforating flaps by computed tomography with angiography. *Radiation Diagnostics, Radiation Therapy.* 2017. No. 1 (in Russian).
2. Badiul P. O., Slesarenko S. V. Multidetector-row computed tomographic angiography in the planning of the local perforator flaps. *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open.* 2015. V. 22. P. e516.
3. Feng S., Min P., Grassetti L., Lazzeri D., Sadigh P., Nicoli F., Torresetti M., Gao W., di Benedetto G., Zhang W., Zhang Y. X. A prospective head-to-head comparison of color Doppler ultrasound and computed tomographic angiography in the preoperative planning of lower extremity perforator flaps. *Plast. Reconstr. Surg.* 2016. V. 137. P. 335–347.
4. Heneweer C., Zirk M., Safi A., Smeets R., Malter W., Kröger N., Zöller J., Maintz D., Zinser M. An Innovative Approach for Preoperative Perforator Flap Planning Using Contrast-enhanced B-flow Imaging. *PRS – Global Open.* 2021. V. 9. No. 5. P. e3547.
5. Hennessy O., Potter S. M. Use of infrared thermography for the assessment of free flap perforators in autologous breast reconstruction: A systematic review. *JPRAS Open.* 2020. V. 23. P. 60–70.
6. Ibrahim R. M., Gunnarsson G. L., Akram J., Sørensen J. A., Thomsen J. B. Color Doppler ultrasonography targeted reconstruction using pedicled perforator flaps — a systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Plast. Surg.* 2018. V. 41. No. 5. P. 495–504.
7. Kehrer A., Heidekrueger P. I., Lonic D., Taeger C. D., Klein S., Lamby P., Sachanadani N. S., Jung E. M., Prantl L., da Silva N. P. B. High-Resolution Ultrasound-Guided Perforator Mapping and Characterization by the Microsurgeon in Lower Limb Reconstruction. *J. Reconstr. Microsurg.* 2021. V. 37. No. 1. P. 75–82.
8. Khoong Y. M., Huang X., Gu S., Zan T. Imaging for thinned perforator flap harvest: current status and future perspectives. *Burns & Trauma.* 2021. V. 9. P. tkab042.
9. Li K., Zhang Z., Nicoli F., D'Ambrosia C., Xi W., Lazzeri D., Feng S., Su W., Li H., Ciudad P., Tremp M., Zhang Y. X. Application of Indocyanine Green in Flap Surgery: A Systematic Review. *J. Reconstr. Microsurg.* 2018. V. 34. P. 77–86.
10. Martínez J. G., Pérez A. T., Vega M. G., Nuñez-Villaveiran T. Preoperative Vascular Planning of Free Flaps: Comparative Study of Computed Tomographic Angiography, Color Doppler Ultrasonography, and Hand-Held Doppler. *Plast. Reconstr. Surg.* 2020. V. 146. P. 227–237.
11. Ono S., Hayashi H., Ohi H., Ogawa R. Imaging Studies for Preoperative Planning of Perforator Flaps: An Overview. *Clin. Plastic. Surg.* 2017. V. 44. P. 21–30.
12. Orgill D. P., Atia A., Hollenbeck S. T. Local Skin Flaps for Lower Extremity Wounds. *Handbook of Lower Extremity Reconstruction.* 2020. P. 115–127.
13. Pereira N., Valenzuela D., Mangelsdorff G., Kufeke M., Roa R. Detection of Perforators for Free Flap Planning Using Smartphone Thermal Imaging: A Concordance Study with Computed Tomographic Angiography in 120 Perforators. *Plast. Reconstr. Surg.* 2018. V. 141. No. 3. P. 787–792.
14. Renzulli M., Clemente A., Brocchi S., Gelati C., Zanotti S., Pizzi C., Tassone D., Cappabianca S., Cipriani R., Golfieri R. Preoperative computed tomography assessment for a deep inferior epigastric

- perforator (DIEP) flap: a new easy technique from the Bologna experience. *Acta Radiol.* 2021. V. 62. No. 10. P. 1283–1289.
15. *Rozen W. M., Stella D. L., Bowden J., Taylor G. I., Ashton M. W.* Advances in the pre-operative planning of deep inferior epigastric artery perforator flaps: magnetic resonance angiography. *Microsurgery.* 2009. V. 29. No. 2. P. 119–123.
 16. *Schiltz D., Lenhard J., Klein S., Anker A., Lonic D., Heidekrueger P. I., Prantl L., Jung E.-M., Da Silva N. P. B., Kehrer A.* Do-It-Yourself Preoperative High-Resolution Ultrasound-Guided Flap Design of the Superficial Circumflex Iliac Artery Perforator Flap (SCIP). *J. Clin. Med.* 2021. V. 10. P. 2427.
 17. *Soliman H. H., Abozeid M. F., Moustafa M. A.* Efficacy of perforator CTA of deep inferior epigastric artery perforator flap in preoperative planning of breast reconstruction: comparative study with CDUS. *EJRNM.* 2020. V. 51. P. 1–8.
 18. *Van Den Hoven P., Verduijn P. S., Van Capelle L., Tange F. P., Michi M., Corion L. U. M., Sibinga Mulder B. G., Mureau M. A. M., Vahrmeijer A. L., Van Der Vorst J. R.* Quantification of near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green in free flap breast reconstruction. *JPRAS.* 2022.
 19. *Visconti G., Bianchi A., Hayashi A., Cina A., Maccauro G., Almadori G., Salgarello M.* Thin and superthin perforator flap elevation based on preoperative planning with ultrahigh-frequency ultrasound. *Arch. Plast. Surg.* 2020. V. 47. No. 4. P. 365–370.
 20. *Yang S. F., Wang C. M., Ono S., Xu W., Xu K.-Y., Pu L. L. Q.* The value of multidetector row computed tomography angiography for preoperative planning of freestyle pedicled perforator flaps. *Ann. Plast. Surg.* 2016. V. 77. No. 6. P. 669–673.

Сведения об авторах / Information about authors

Трефилов Александр Александрович, заведующий рентгеновским отделением ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 105094, г. Москва, Госпитальная пл., д. 3.

Тел.: +7 (499) 263-55-55. Электронная почта: trefys@mail.ru

ORCID.org/0000-0002-9885-5829

Вклад автора: анализ литературы, написание текста.

Trefilov Aleksandr Aleksandrovich, Head of the X-ray Department of the Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia.

Address: 3, Gospiatal'naya pl., Moscow, 105094, Russia.

Tel.: +7 (499) 263-55-55. E-mail: trefys@mail.ru

ORCID.org/0000-0002-9885-5829

Author's contribution: literature analysis, text writing.

Крюков Евгений Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, начальник ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6.

Тел. +7 (812) 292-32-63. Электронная почта: evgeniy.md@mail.ru

ORCID.org/0000-0002-8396-1936

Вклад автора: создание концепции научного направления.

Kryukov Evgeny Vladimirovich, M. D. Med., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia.

Address: 6, ul. Academician Lebedev, St. Petersburg, 194044, Russia.

Phone number: +7 (812) 292-32-63. E-mail: evgeniy.md@mail.ru

ORCID.org/0000-0002-8396-1936

Author's contribution: creation of the concept of the scientific direction.

Троян Владимир Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, начальник центра лучевой диагностики ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 105094, г. Москва, Госпитальная пл., д. 3.

Тел.: +7 (499) 263-55-55. Электронная почта: vtroyan10@yahoo.com

ORCID.org/0000-0002-8008-9660

Вклад автора: экспертная оценка обзора литературы, определение основной направленности обзора, систематизация и финальное редактирование обзора.

Troyan Vladimir Nikolayevich, M. D. Med., Professor, Head of the center for radiation diagnosis of the Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia.

Address: 3, Gospital'naya pl., Moscow, 105094, Russia.

Tel.: +7 (499) 263-55-55. E-mail: vtroyan10@yahoo.com

ORCID.org/0000-0002-8008-9660

Author's contribution: expert evaluation of the literature review, determination of the main focus of the review, systematization and final editing of the review.

Терещук Сергей Васильевич, кандидат медицинских наук, начальник центра челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 105094, г. Москва, Госпитальная пл., д. 3.

Тел.: +7 (499) 263-55-55. Электронная почта: tereschuksv@gmail.com

ORCID.org/0000-0001-6384-8058

Вклад автора: одобрение окончательной версии статьи перед ее подачей для публикации.

Tereshchuk Sergej Vasil'evich, Ph. D. Med., Head of the Center for Maxillofacial Surgery and Dentistry of the Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia.

Address: 3, Gospital'naya pl., Moscow, 105094, Russia.

Tel.: +7 (499) 263-55-55. E-mail: tereschuksv@gmail.com

ORCID.org/0000-0001-6384-8058

Author's contribution: approval of the final version of the article before submitting it for publication.

Сухарев Владимир Александрович, кандидат медицинских наук, начальник отделения реконструктивной, микрососудистой и пластической хирургии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 105094, г. Москва, Госпитальная пл., д. 3.

Тел.: +7 (499) 263-55-55. Электронная почта: skidoc@mail.ru

ORCID.org/0000-0001-9556-6784

Вклад автора: поиск публикаций по теме.

Suharev Vladimir Aleksandrovich, Ph. D. Med., Head of the Department of Reconstructive, Microvascular, and Plastic Surgery of the Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia.

Address: 3, Gospital'naya pl., Moscow, 105094, Russia.

Tel.: +7 (499) 263-55-55. E-mail: skidoc@mail.ru

ORCID.org/0000-0001-9556-6784

Author's contribution: search for publications on the topic.

Асеева Ирина Анатольевна, кандидат медицинских наук, заведующая отделением, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 105094, г. Москва, Госпитальная пл., д. 3.

Тел.: +7 (499) 263-55-55. Электронная почта: irinaas.7@yandex.ru

ORCID.org/0000-0003-2193-7604

Вклад автора: поиск публикаций по теме.

Aseeva Irina Anatol'evna, Ph. D. Med., Head of department, doctor of ultrasound diagnostics of the Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia.

Address: 3, Gospital'naya pl., Moscow, 105094, Russia.

Tel.: +7 (499) 263-55-55. E-mail: irinaas.7@yandex.ru

ORCID.org/0000-0003-2193-7604

Author's contribution: search for publications on the topic.

Гайдукова Елена Владимировна, заведующая кабинетом КТ и ангиографии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 105094, г. Москва, Госпитальная пл., д. 3.

Тел.: +7 (499) 263-55-55. Электронная почта: e_gaydukova@inbox.ru

ORCID.org/0000-0001-9208-7446

Вклад автора: поиск публикаций по теме.

Gajdukova Elena Vladimirovna, Head of CT and Angiography Room of the Burdenko Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of Russia.

Address: 3, Gospital'naya pl., Moscow, 105094, Russia.

Tel.: +7 (499) 263-55-55. E-mail: e_gaydukova@inbox.ru

ORCID.org/0000-0001-9208-7446

Author's contribution: search for publications on the topic.