

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2025.4.9>

Оценка микроциркуляции нейроваскулярных кожно-фасциальных лоскутов при различных вариантах пластики

К.А. Федоров¹, В.Г. Богдан², А.И. Кубарко³

¹Государственное учреждение «432 ордена Красной Звезды главный военный клинический медицинский центр Вооруженных Сил Республики Беларусь», г. Минск, Республика Беларусь

²Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

³Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2025. – Том 24, №4. – С. 9-18.

Evaluation of neurovascular fascio-cutaneous flaps microcirculation in various kinds of plastic surgeries

K.A. Fedorov¹, V.G. Bogdan², A.I. Kubarko³

¹432 Order of the Red Star Main Military Clinical Medical Center of the Armed Forces of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

³Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2025;24(4):9-18.

Резюме.

Цель – оценить динамику изменений параметров спектрометрии в оценке микроциркуляции мягких тканей при различных вариантах пластики обширных посттравматических дефектов мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей несвободными нейроваскулярными кожно-фасциальными лоскутами.

Материал и методы. В рамках научно-исследовательской работы кафедры военно-полевой хирургии Военно-медицинского института в УО «Белорусский государственный медицинский университет» по теме «Совершенствование направлений диагностики и комплексного лечения пациентов с посттравматическими дефектами мягких тканей конечностей» (№ государственной регистрации 20170424 от 29.03.2017) проведен сравнительный анализ динамики изменений параметров спектрометрии в соответствии у 30 пациентов с обширными дефектами мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей, которые проходили оперативное лечение на базе государственного учреждения «432 ордена Красной Звезды главный военный клинический медицинский центр Вооруженных Сил Республики Беларусь» в период 2016-2021 гг.

Результаты. В статье представлен анализ двухфазной динамики изменения показателей микроциркуляции нейроваскулярных кожно-фасциальных лоскутов при различных вариантах пластики обширных посттравматических дефектов мягких тканей дистальных сегментов нижних конечностей на основании результатов перкутанной спектрометрии.

Заключение. Доказано, что восстановление показателей микроциркуляции в перемещённом нейроваскулярном лоскуте при пластике по разработанному методу происходит на двое суток раньше, чем при стандартной реконструктивной операции за счет полноценной функциональной адаптации тканей к пятым суткам после операции с нормализацией насыщения крови кислородом и полной компенсацией плотности сосудистой сети. Снижение абсолютных значений содержания оксигемоглобина в раннем послеоперационном периоде и индивидуальные критические значения плотности кровеносных сосудов в диапазоне 0,05-0,01% могут являться прогностически неблагоприятными признаками, указывающими на возможность развития необратимых изменений в перемещённом лоскуте.

Ключевые слова: обширный дефект мягких тканей; дистальный сегмент нижней конечности; нейроваскулярный лоскут; спектрометрия.

Abstract.

Objectives. To evaluate the dynamics of changes in spectrometry parameters in the assessment of soft tissue microcirculation in various kinds of plastic surgery of extensive post-traumatic soft tissue defects of the distal lower extremities using non-free neurovascular fascio-cutaneous flaps.

Material and methods. Within the framework of the research work of the Department of Military Field Surgery of the Military Medical Institute of the Belarusian State Medical University on the topic of «Improving the directions of diagnostics and complex treatment of patients with post-traumatic defects of soft tissues of the extremities» (state registration No. 20170424 dated March 29, 2017), a comparative analysis of the dynamics of changes in spectrometry parameters was carried out in 30 patients with the extensive defects of soft tissues of the distal parts of the lower extremities who underwent surgical treatment at the 432 Order of the Red Star Main Military Clinical Medical Center of the Armed Forces of the Republic of Belarus during the period 2016-2021.

Results. The article analyzes the two-phase dynamics of changes in the microcirculation parameters of the neurovascular fascio-cutaneous flaps in various plastic surgery options for the extensive post-traumatic soft tissue defects of the lower limbs distal segments based on the results of percutaneous spectrometry.

Conclusions. It has been proven that the restoration of microcirculation parameters in the displaced neurovascular flap during plastic surgeries using the developed method occurs two days earlier than during a standard reconstructive surgery due to full functional adaptation of tissues by the fifth day after surgery with normalization of the blood oxygen saturation and complete compensation of the vascular network density. A decrease in the absolute values of oxyhemoglobin content in the early postoperative period and individual critical values of blood vessel density in the range of 0.05-0.01% may be prognostically unfavorable signs indicating the possibility of irreversible changes in the displaced flap.

Keywords: extensive soft tissue defect; distal segment of the lower limb; neurovascular flap; spectrometry.

Введение

Наличие в арсенале пластической хирургии многочисленных методов и в настоящее время не решило проблему оптимального варианта восстановления обширных посттравматических дефектов мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей. К основным факторам, определяющим сложность решения этого вопроса, можно отнести существующий дефицит покровных тканей в дистальных отделах нижней конечности, наличие повышенных функциональных требований к опорным отделам стопы, широкая распространенность периферических нарушений венозного и артериального кровообращения [1-3].

Одним из перспективных методов пластики обширных раневых повреждений по мнению большинства исследователей представляется применение несвободных нейроваскулярных кожно-фасциальных лоскутов [3-4].

При этом наиболее частой причиной развития послеоперационных осложнений в виде тотального либо краевого некроза лоскутов после их перемещения является формирование острой ишемии тканей по причине нарушения артериального кровоснабжения (повреждения сосудистой ножки, недостаточная васкуляризация, тромбозы кровоснабжающих сосудов) или вследствие венозной недостаточности (наруше-

ние венозного оттока, сдавление ножки лоскута) [4, 5]. Наибольшее количество нарушений кровотока лоскутов происходит в течение первых трех суток после операции [5].

Большинство неинвазивных методов оценки жизнеспособности лоскута, таких как клинический, портативный доплер, поверхностная термометрия, лазерная доплеровская флоуметрия, перкутанная спектрометрия, тканевая оксиметрия оптимальны для оценки кровоснабжения поверхностно расположенных кожно-фасциальных лоскутов [6-7].

Возможности перкутанной спектрометрии с оценкой содержания оксигемоглобина в крови, определения средней суммарной площади сечения сосудов позволяют получить объективные данные о состоянии микроциркуляции в исследуемой области [7-10]. Данные измерений возможно интерпретировать на основе динамики их изменений, сравнения с контрольными показателями, в том числе для оценки влияния на эффективное восстановление кровообращения нейроваскулярных кожно-фасциальных лоскутов при различных вариантах пластики обширных дефектов мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей.

Цель исследования – оценить динамику изменений параметров спектрометрии в оценке микроциркуляции мягких тканей при различных вариантах пластики обширных посттравматиче-

ских дефектов мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей несвободными нейроваскулярными кожно-фасциальными лоскутами.

Материал и методы

В рамках научно-исследовательской работы кафедры военно-полевой хирургии Военно-медицинского института в УО «Белорусский государственный медицинский университет» по теме «Совершенствование направлений диагностики и комплексного лечения пациентов с посттравматическими дефектами мягких тканей конечностей» (№ государственной регистрации 20170424 от 29.03.2017) проведен сравнительный анализ динамики изменений параметров спектрометрии в соответствии у 30 пациентов с обширными дефектами мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей, которые проходили оперативное лечение на базе государственного учреждения «432 ордена Красной Звезды главный военный клинический медицинский центр Вооруженных Сил Республики Беларусь» в период 2016-2021 гг.

Критерии включения в исследование: наличие обширного (более 30 см²) посттравматического дефекта мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей (нижняя треть голени, область голеностопного сустава, подошвенная поверхность заднего и среднего отдела стопы), находящиеся в стадии пролиферативной фазы раневого процесса.

Критерии исключения: нарушение проходимости большой и (или) малой подкожной вены, задней большеберцовой и (или) малоберцовой артерии нижней конечности, тяжелая сопутствующая патология (сердечная недостаточность, инфаркт миокарда, сепсис, декомпенсированный сахарный диабет, кахексия, психические нарушения), онкологические заболевания, хроническая артериальная и (или) венозная недостаточность.

Участники исследования не должны были выполнять тяжелые физические нагрузки, употреблять кофе и (или) алкогольные напитки, курить в течение 24 ч до начала измерений.

В основной группе (№1) у 15 пациентов пластика обширных дефектов выполнена по разработанному комплексному методу несвободными нейроваскулярными кожно-фасциальными лоскутами в сочетании с регенеративными технологиями (патент Республики Беларусь на изобретение №22508 «Способ пластики дефектов покровных тканей дисталь-

ного отдела нижней конечности кожно-фасциальным нейроваскулярным лоскутом», авторы Богдан В.Г., Сухарев А.А., Федоров К.А., Кубарко А.И.) в соответствии с утвержденной Министерством здравоохранения Республики Беларусь инструкцией по применению [11].

В группе сравнения (№2) у 15 пациентов оперативное лечение проведено с использованием нейроваскулярных кожно-фасциальных лоскутов по классической методике с размещением фасциально-жировой ножки лоскута в подкожном канале [12-14].

Исследуемые группы были сопоставимы ($p>0,05$) по возрасту, полу, площади раневого дефекта, длительности заболевания.

Для оценки микроциркуляции покровных тканей в перемещенном лоскуте методом перкутанной спектрометрии использовали автоматизированный оптоволоконный спектрофотометр AvaSpec-256 (Нидерланды) [15]. Прибор позволяет проводить измерения в диапазоне 200-1100 нм с оптическим разрешением 0,5-6,4 нм при значении уровня сигнал/шум 2000:1 обеспечивает оценки величин абсорбции с точностью 0,001.

В качестве контрольной точки измерения определена точка, соответствующая центру лоскута (ЦЛ), ввиду ее удаленности от места рота-



Рисунок 1 – Выполнение перкутанной спектрометрии перемещенного несвободного нейроваскулярного кожно-фасциального лоскута

ции лоскута и основания его сосудистой ножки, а также высокой чувствительности тканей в этой области к нарушениям микроциркуляции (рис. 1).

Точки спектрометрии до операции были установлены исходя из предоперационной разметки и после хирургического вмешательства оставались теми же (рис. 2, 3).

Обследование пациентов выполняли в дооперационном периоде (до ротации лоскута), а также ежедневно с 1-х по 7-е сутки после операции (после перемещения лоскута) до достижения показателей исходным значениям.

Анализ динамики изменения параметров спектрометрии проведен по следующим показателям: HbO_2 – содержание оксигемоглобина в крови в исследуемой области (%), W – плотность кровеносных сосудов в исследуемой области (%).

В каждой точке проводилось $N=5-7$ измерений, с последующим вычислением среднего значения (математического ожидания) [16]:

$$m = \frac{L_{OE1} + L_{OE2} + \dots + L_{OEN}}{N} \quad (1),$$

среднего квадратического отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(m - L_{OE1})^2 + (m - L_{OE2})^2 + \dots + (m - L_{OEN})^2}{N}} \quad (2),$$

где: L_{KJIN} – результат N -го измерения.

Полученные значения m для каждого пациента в день измерения вносились в таблицы.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы Statistica 10. Данные представлены в виде медианы и межквартильного интервала ($Me [25\%; 75\%]$). Для оценки результатов, полученных при исследовании, использовали критерии Вилкоксона для зависимых и Манна-Уитни для независимых выборок в парных сравнениях, ANOVA-Фридман для многокомпонентных сравнений. Для анализа взаимосвязи двух количественных признаков использовали метод ранговой корреляции Спирмена. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Динамика изменения содержания оксигемоглобина в контрольной точке лоскута у пациентов основной группы характеризовалась определенными закономерностями (табл. 1). В первые сутки после выполнения пластики дефекта по разработанному методу и ротации лоскута отмечено значимое падение уровня оксигемоглобина в 2,6 раза относительно значения до операции ($p < 0,05$). В дальнейшем, в течении пяти суток наблюдения установлен поступательный положительный рост показателя насыщения тканей оксигемоглобином относительно данных предыдущего периода в 1,44 раза на 2-е сутки, в 1,38 раза на 3-и сутки, в 1,29 раза на 4-е сутки и в 1,02 раза на 5-е сутки, при $p < 0,05$. Достижение уровня



Рисунок 2 – Точка спектрометрии предполагаемого забора лоскута (до операции)

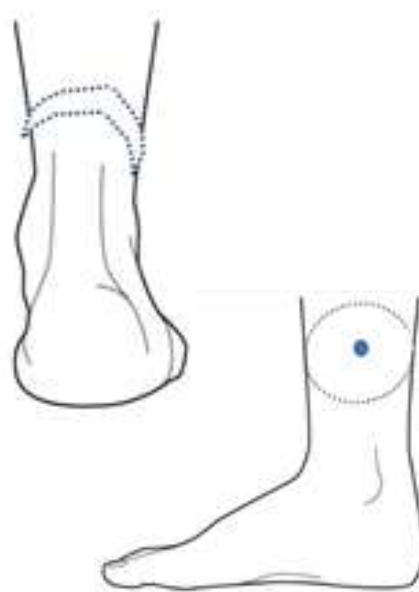


Рисунок 3 – Точка спектрометрии перемещенного лоскута (после операции)

Таблица 1 – Среднее значение HbO₂ (%) в контрольной точке центра лоскута (группа 1)

№ пациента	до операции	1 сутки	2 сутки	3 сутки	4 сутки	5 сутки
1 пациент	95,114	33,755	42,368	65,126	91,68	94,347
2 пациент	94,722	39,146	54,974	60,399	92,654	96,342
3 пациент	95,166	35,971	40,794	57,892	91,77	97,409
4 пациент	95,185	30,494	41,852	50,313	93,762	94,584
5 пациент	94,761	31,098	59,642	74,031	92,719	96,615
6 пациент	95,198	41,424	62,145	86,256	94,436	94,286
7 пациент	94,353	35,695	61,687	90,445	93,887	93,638
8 пациент	94,513	42,62	51,915	87,922	93,164	96,392
9 пациент	95,846	39,975	49,475	55,584	93,196	93,823
10 пациент	95,748	38,762	53,857	91,178	92,751	93,864
11 пациент	94,986	41,19	58,502	74,265	92,768	94,37
12 пациент	95,535	31,239	52,487	71,644	92,604	97,186
13 пациент	94,941	33,4	41,804	70,952	91,534	95,428
14 пациент	94,164	33,395	42,105	57,049	91,84	93,501
15 пациент	95,477	40,636	43,633	75,919	92,145	94,168
Me [25%; 75%]	95,114 [94,722; 95,477]	35,971 [33,395; 40,636] *	51,915 [42,105; 58,502] */**	71,644 [57,892; 86,256]*/**	92,719 [91,84; 93,196]*/**	94,37 [93,864; 96,392]**
ANOVA (N=15, df=5)=71,49524 p=0,00000						

Примечание здесь и в табл. 2-4: * – достоверность различий (критерий Вилкоксона, $p < 0,05$) по сравнению с уровнем до операции; ** – достоверность различий (критерий Вилкоксона, $p < 0,05$) по сравнению с предыдущим периодом.

Таблица 2 – Среднее значение HbO₂ (%) контрольной точке центра лоскута (группа 2)

№ пациента	до операции	1 сутки	2 сутки	3 сутки	4 сутки	5 сутки	6 сутки	7 сутки
1 пациент	94,579	35,22	36,37	49,879	79,77	83,456	93,644	93,897
2 пациент	94,506	25,29	27,71	51,384	81,159	82,616	92,656	95,013
3 пациент	94,036	34,95	36,25	53,244	75,929	83,112	93,412	94,672
4 пациент	94,661	32,94	57,28	64,963	79,618	82,822	92,622	93,576
5 пациент	95,521	23,217	35,496	45,56	42,97			
6 пациент	95,59	24,352	36,37	60,267	84,267	89,033	92,033	97,356
7 пациент	94,068	26,275	32,02	37,251	51,309	63,787	93,877	91,69
8 пациент	95,013	28,631	31,262	58,017	75,269	83,076	93,876	94,879
9 пациент	95,058	26,565	31,169	55,192	78,523	81,708	91,608	96,439
10 пациент	94,448	28,366	35,639	71,833	78,42	87,324	92,06	93,972
11 пациент	94,284	28,016	52,573	64,443	75,012	83,808	93,968	95,812
12 пациент	94,667	23,328	42,862	48,794	81,498	87,365	92,365	94,418
13 пациент	93,41	24,537	32,106	31,36				
14 пациент	95,314	24,689	27,023	43,588	78,202	84,79	94,29	96,04
15 пациент	94,481	27,305	44,788	69,801	75,65	83,787	93,007	93,819
Me [25%; 75%]	94,579 [94,284; 95,058]	26,565 [24,537; 28,631]*	35,639 [31,262; 42,862]*/**	53,244 [45,56; 64,443]*/**	78,311 [75,269; 79,77]*/**	83,456 [82,822; 84,79]*/**	93,007 [92,365; 93,876]*/**	94,672 [93,897; 95,812]**
ANOVA (N=13, df=7)=89,46154 p=0,00000								

дооперационного периода по содержанию оксигемоглобина у пациентов группы 1 зафиксировано на пятые сутки после операции ($p > 0,05$).

Пластическое закрытие раневого дефекта с использованием нейроваскулярных кожно-фасциаль-

ных лоскутов по классической методике (группа 2) сопровождалось в основном схожими тенденциями в модификации накопления оксигемоглобина (табл. 2). Так, в первые сутки после операции снижение среднего значения HbO₂ достигало 26,565%

[24,537%; 28,631%], что было в 3,56 раза меньше ($p<0,05$) дооперационного уровня. В дальнейшем в группе сравнения происходило увеличение содержания оксигемоглобина относительно результата предыдущего периода наблюдения в 1,34 раза на 2-е сутки, в 1,49 раза на 3-и сутки, в 1,47 раза на 4-е сутки, в 1,07 раза на 5-е сутки, в 1,11 раза на 6-е сутки и в 1,02 раза на 7-е сутки, при $p<0,05$.

Процесс восстановления насыщения крови кислородом в лоскуте в группе 2 был более затяжной и завершился к седьмым суткам наблюдения (при сопоставимых значениях с уровнем до операции, $p>0,05$), что на двое суток превысило сроки завершения адаптационного периода для перемещенного лоскута в основной группе, который был ограничен пятью сутками.

Кроме того, в ходе анализа индивидуальной оценки изменений HbO_2 в поверхностных тканях у пациентов №5 и №13 выявлено снижение значений показателя на 4-е и 3-и сутки соответственно после оперативного вмешательства, которое сопровождалось клиническими проявлениями острой ишемии лоскута с развитием тотальных некротических изменений. Данное обстоятельство явилось показанием для выполнения повторной операции у двух пациентов группы сравнения.

Сравнительный анализ содержания оксигемоглобина в лоскуте, в зависимости от метода пластики, выявил отдельные особенности (рис. 4).

При исходно схожих ($p>0,05$) дооперационных показателях HbO_2 в исследуемых группах отмечено достоверное превышение медианных

значений содержания оксигемоглобина в течении всего периода послеоперационного наблюдения у пациентов, оперированных по разработанному методу, в сравнении со стандартной реконструктивной операцией (в первые сутки в 1,35 раза, во вторые сутки в 1,46 раза, на третьи сутки в 1,34 раза, на четвертые сутки в 1,18 раза и на пятые сутки в 1,13 раза, при $p<0,05$). Установленные закономерности указывают на формирование условий для более быстрой перестройки кровоснабжения в кожно-фасциальном лоскуте при клиническом применении предложенного комплексного метода.

Оценка плотности кровеносных сосудов в контрольной точке лоскута позволила констатировать двухфазную динамику колебания этого показателя, которая в целом соответствовала аналогичными изменениям содержания оксигемоглобина у пациентов группы 1 (табл. 3).

Установленное первоначально резкое снижение в первые сутки после перемещения лоскута плотности кровеносных сосудов в 1,63 раза ($p<0,05$) относительно дооперационного уровня впоследствии сменялось постепенным подъёмом медианной величины показателя с ростом на вторые сутки в 1,4 раза, на третьи сутки в 1,01 раза, на четвертые сутки в 1,08 раза и на пятые сутки в 1,1 раза в сравнении с предыдущим сроком наблюдения ($p<0,05$). Достижение исходного уровня (до операции) было отмечено на 5-е сутки ($p>0,05$).

В тоже время в группе 2 при использовании классической методики пластики нейроваскулярным кожно-фасциальным лоскутом при сохране-

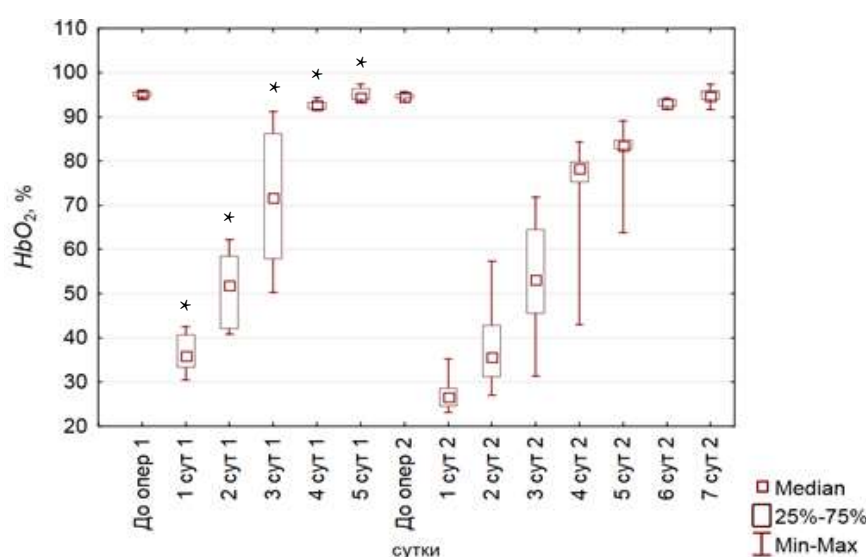


Рисунок 4 – Динамика изменения содержания оксигемоглобина в крови (HbO_2 , %) в центре лоскута у пациентов группы 1 и группы 2: * – достоверность различий (критерий Манна-Уитни, $p<0,05$) по сравнению со значениями группы 2 в аналогичном периоде

Таблица 3 – Среднее значение W (%) в контрольной точке центра лоскута (группа 1)

№ пациента	до операции	1 сутки	2 сутки	3 сутки	4 сутки	5 сутки
1 пациент	0,174	0,18	0,16	0,141	0,14	0,165
2 пациент	0,234	0,17	0,23	0,173	0,16	0,21
3 пациент	0,244	0,16	0,22	0,231	0,23	0,254
4 пациент	0,221	0,14	0,21	0,213	0,2	0,212
5 пациент	0,336	0,05	0,08	0,08	0,3	0,339
6 пациент	0,191	0,09	0,037	0,125	0,152	0,189
7 пациент	0,266	0,15	0,22	0,22	0,22	0,267
8 пациент	0,237	0,06	0,224	0,226	0,231	0,235
9 пациент	0,291	0,21	0,22	0,218	0,241	0,288
10 пациент	0,298	0,15	0,299	0,265	0,286	0,295
11 пациент	0,193	0,12	0,06	0,18	0,184	0,195
12 пациент	0,309	0,17	0,02	0,2	0,27	0,30
13 пациент	0,31	0,16	0,1	0,24	0,3	0,311
14 пациент	0,226	0,19	0,12	0,19	0,26	0,223
15 пациент	0,31	0,1	0,32	0,28	0,3	0,311
Me [25%; 75%]	0,244 [0,221; 0,309]	0,15 [0,1; 0,17]*	0,21 [0,08; 0,224]*/**	0,213 [0,173; 0,231]*/**	0,231 [0,184; 0,286]*/**	0,254 [0,21; 0,3]**
ANOVA (N=15, df=5)=41,98459 p=0,00000						

Таблица 4 – Среднее значение W (%) в контрольной точке центра лоскута (группа 2)

№ пациента	до операции	1 сутки	2 сутки	3 сутки	4 сутки	5 сутки	6 сутки	7 сутки
1 пациент	0,276	0,15	0,18	0,19	0,198	0,22	0,241	0,279
2 пациент	0,202	0,113	0,123	0,121	0,124	0,187	0,191	0,20
3 пациент	0,22	0,18	0,15	0,16	0,18	0,17	0,19	0,21
4 пациент	0,192	0,09	0,1	0,152	0,185	0,192	0,19	0,192
5 пациент	0,215	0,151	0,1	0,05	0,01			
6 пациент	0,229	0,15	0,226	0,226	0,229	0,227	0,226	0,23
7 пациент	0,251	0,15	0,168	0,176	0,189	0,221	0,241	0,251
8 пациент	0,289	0,1	0,185	0,198	0,256	0,252	0,262	0,29
9 пациент	0,293	0,12	0,206	0,20	0,207	0,246	0,261	0,287
10 пациент	0,168	0,18	0,145	0,15	0,151	0,157	0,16	0,16
11 пациент	0,248	0,17	0,15	0,159	0,23	0,23	0,231	0,24
12 пациент	0,232	0,18	0,15	0,16	0,18	0,2	0,22	0,227
13 пациент	0,249	0,11	0,05	0,01				
14 пациент	0,156	0,12	0,136	0,137	0,132	0,15	0,151	0,15
15 пациент	0,251	0,12	0,13	0,22	0,22	0,23	0,242	0,256
Me [25%; 75%]	0,232 [0,202; 0,251]	0,15 [0,113; 0,17]*	0,15 [0,123; 0,18]*	0,16 [0,137; 0,198]*	0,187 [0,151; 0,22]*/**	0,22 [0,187; 0,23]*/**	0,226 [0,19; 0,241]*/**	0,23 [0,2; 0,256]**
ANOVA (N=13, df=7)=71,73048 p=0,00000								

нии общей тенденции трансформации плотности кровеносных сосудов определены отдельные особенности (табл. 4).

Стартовое падение плотности кровеносных сосудов в первые сутки в 1,55 раза относительно данных до операции ($p<0,05$) сохранялось вплоть до третьих суток наблюдения ($p>0,05$). Начиная с четвертых суток после операции фиксировано

увеличение показателя в 1,16 раза, на пятые сутки в 1,18 раза, на шестые сутки в 1,03 раза и на седьмые сутки в 1,02 раза в сравнении с уровнем предыдущего периода ($p<0,05$). Для достижения полной компенсации плотности сосудистой сети лоскута у пациентов в группе сравнения потребовалось на 2-е суток больше, чем в основной группе (семь и пять суток соответственно).

Также определены возможные индивидуальные критические значения плотности кровеносных сосудов (0,05-0,01%), указывающие на развитие необратимых структурных изменений в перемещённом лоскуте. Данные показатели были зафиксированы у двух пациентов группы сравнения в период со вторых до четвертых суток после операции, которым выполнены повторные реконструкции по причине острого нарушения кровоснабжения лоскута, приведшего к его тотальному некрозу.

Динамика изменения показателя плотности сосудов в центре лоскута у пациентов основной группы и группы сравнения не имела принципиальных отличий ($p>0,05$), за исключением третьих суток после операции, с преобладанием показателя в группе 1 в 1,33 раза ($p<0,05$) по отношению к группе 2 (рис. 5).

Возможной причиной указанного обстоятельства может являться широкий диапазон разброса данных. Такую картину можно объяснить тем, что лоскуты хотя и имели сопоставимые размеры, однако обладали своим уникальным сосудистым рисунком подкожной капиллярной сети. Таким образом, в разных точках измерения могли регистрироваться зоны, обедненные или, напротив, богатые сосудами. При этом ни в первом, ни во втором случаях это никак не проявлялось клинически, так как общий тренд, как в основной группе, так и в группе сравнения, был положительный, что констатирует нормализацию циркуляции крови в исследуемых областях.

В ходе исследования также было установлено наличие прямой положительной умеренной

корреляционной зависимости между содержанием оксигемоглобина в крови и плотностью кровеносных сосудов ($r=0,6318$, $p=0,00000001$), что подтверждает взаимосвязь структурной и функциональной составляющей кровоснабжения в перемещённом лоскуте (рис. 6).

Заключение

1. Динамика изменения показателей микроциркуляции нейроваскулярных кожно-фасциальных лоскутов при различных вариантах пластики характеризовалась определенной периодичностью: начальным значимым снижением содержания оксигемоглобина в 2,6-3,56 раза и плотности кровеносных сосудов в исследуемой области в 1,35-1,63 раза, в сравнении с уровнем до операции ($p<0,05$) в первые сутки наблюдения, с последующим постепенным ростом значений ($p<0,05$) до достижения исходных величин в течение 5-7 суток.

2. Восстановление кровоснабжения в перемещённом несвободном нейроваскулярном кожно-фасциальном лоскуте при пластике по разработанному методу происходит на 2 суток раньше, чем при стандартной реконструктивной операции, за счет полноценной функциональной адаптации тканей к пятым суткам после операции с нормализацией насыщения крови кислородом и полной компенсацией плотности сосудистой сети.

3. Снижение абсолютных значений содержания оксигемоглобина в раннем послеоперационном периоде и индивидуальные критические значения плотности кровеносных сосудов в диа-

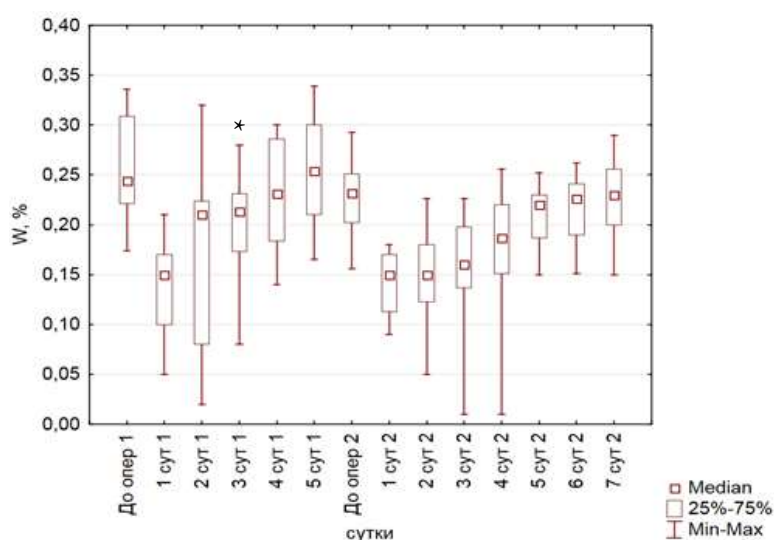


Рисунок 5 – Динамика изменения показателя плотности сосудов (W, %) в центре лоскута у пациентов группы 1 и группы 2: * – достоверность различий (критерий Манна-Уитни, $p<0,05$) по сравнению со значениями группы 2 в аналогичном периоде

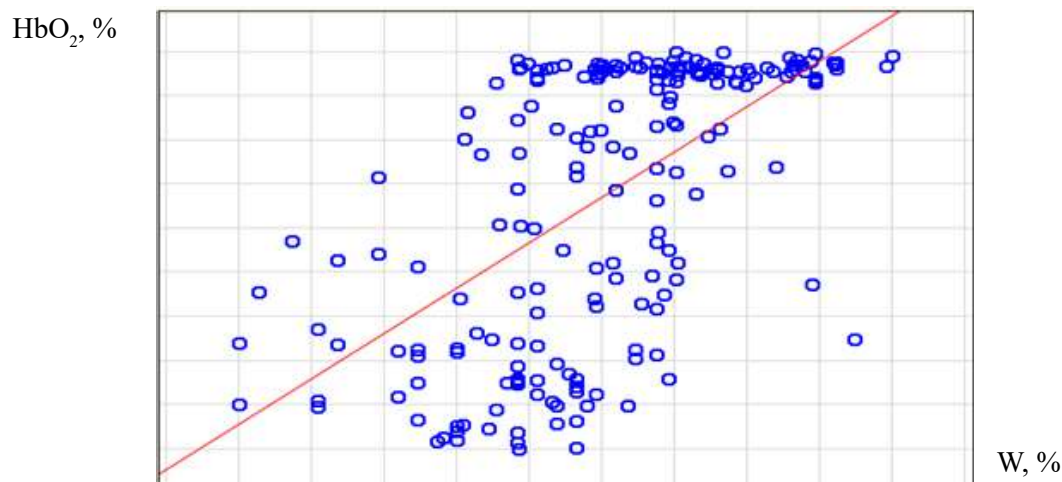


Рисунок 6 – График рассеяния при анализе корреляционной связи между содержанием оксигемоглобина в крови (HbO_2 , %) и плотностью сосудов в перемещенном лоскуте (W, %)

пазоне 0,05-0,01% могут являться прогностически неблагоприятными признаками, указывающими на возможность развития необратимых изменений в перемещенном лоскуте.

4. Наличие прямой положительной умеренной корреляционной зависимости между содержанием оксигемоглобина в крови и плотностью кровеносных сосудов ($r=0,6318$, $p=0,00000001$) подтверждает взаимосвязь структурной и функциональной составляющей кровоснабжения в перемещенном лоскуте.

Литература

1. Байтингер, В. Ф. Нейро-кожные лоскуты в реконструктивной хирургии / В. Ф. Байтингер, А. В. Байтингер, А. А. Ежов // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2010. № 2. С. 5-9.
2. Особенности пластического закрытия раневых дефектов дистальных отделов нижней конечности суральным лоскутом / А. А. Штугин, В. Ю. Михайличенко, И. А. Штугин, С. А. Самарин // Пластическая хирургия и эстетическая медицина. 2021. № 1. С. 52-57. doi: 10.17116/plast.hirurgia2021011521
3. Кутянов, Д. И. Современные принципы и тенденции использования осевых кровоснабжаемых лоскутов в реконструктивной хирургии конечностей / Д. И. Кутянов, Л. А. Родоманова // Травматология и ортопедия России. 2015. № 1. С. 106-115.
4. Тактика лечения посттравматических дефектов мягких тканей конечностей / Е. Ю. Шибаев, П. А. Иванов, А. В. Неведров [и др.] // Журнал им. Н. В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». 2018. Т. 7, № 1. С. 37-43. doi: 10.23934/2223-9022-2018-7-1-37-43
5. Байтингер, В. Ф. Реперфузионный синдром: сосудистые проявления в кожно-фасциальных лоскутах / В. Ф. Байтингер, К. В. Селянинов // Пластическая хирургия и эстетическая медицина. 2021. № 2. С. 40-47. doi: 10.17116/plast.hirurgia202102140
6. Цапаева, Н. Л. Микроциркуляция (часть 3 – методы исследования микроциркуляции) / Н. Л. Цапаева, В. Г. Цапаев // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски, 2024. Т. 8, № 2. С. 2224-2236. doi: 10.51922/2616-633X.2024.8.2.2224
7. Тканевая оксиметрия: оценка жизнеспособности свободных лоскутов при реконструкции головы и шеи / И. Ф. Малыхина, А. И. Неробеев, А. С. Добродеев [и др.] // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2015. Т. 18, № 2. С. 11-24.
8. Критерии выживаемости мышечных лоскутов на основе тканевой соматической оксиметрии / А. И. Неробеев, А. С. Добродеев, И. Ф. Малыхина [и др.] // Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии. 2014. № 3. С. 10-18.
9. Тканевая оксиметрия в оценке жизнеспособности малоберцовых лоскутов при реконструкции головы и шеи / А. С. Добродеев, А. И. Неробеев, И. Ф. Малыхина [и др.] // Хирург. 2015. № 5/6. С. 60-68.
10. Микроциркуляция и кислородный режим тканей кожного лоскута / А. Р. Багян, А. А. Малинин, Ю. М. Цыганков, А. А. Чомаева // Клиническая физиология кровообращения. 2024. Т. 21, № 1. С. 56-68. doi: 10.24022/1814-6910-2024-21-1-56-68
11. Метод пластики обширных дефектов мягких тканей дистальных отделов нижних конечностей несвободными нейроваскулярными кожно-фасциальными лоскутами : инструкция по применению № 076-0820 : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 26.08.2020 г. / В. Г. Богдан, А. П. Трухан, А. А. Сухарев, К. А. Федоров ; Белорус. гос. мед. ун-т; 432-й Гл. воен. клин. мед. центр Вооруж. сил Респ. Беларусь. Минск, 2020. 7 с.
12. The versatile reverse flow sural artery neurocutaneous flap: A case series and review of literature / S. K. Ahmed, B. K. K. Fung, W. Y. Ip [et al.] // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2008 Apr. Vol. 3. P. 15. doi: 10.1186/1749-799X-3-15
13. Masquelet, A. C. Skin island flaps supplied by the vascular axis of the sensitive superficial nerves: anatomic study and clinical experience in the leg / A. C. Masquelet, M. C. Romana, G. Wolf // Plastic and Reconstructive Surgery. 1992 Jan. Vol. 89, № 6. P.1115-1121. doi: 10.1097/00006534-199206000-00018
14. Risk factors associated with complications in lower-extremity reconstruction with the distally based sural flap: a systematic review and pooled analysis / C. de Blacam, S. Colakoglu, A.

- A. Ogunleye [et al.] // Journal of Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgery. 2014 May. Vol. 67, № 5. P. 607–616. doi: 10.1016/j.bjps.2014.01.044
15. Техническое описание автоматизированного оптоволоконного спектрофотометра AvaSpec-256. URL: <https://www.avantes.ru/spectroavaspec256.php> (дата обращения: 15.08.2025).
16. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. 4-е изд., стереотип. Москва : Наука, 1969. 576 с.

Поступила 18.07.2025 г.

Принята в печать 22.08.2025 г.

References

- Baytinger VF, Baytinger AV, Ezhov AA. Neuro-cutaneous flap in reconstructive surgery. Voprosy Rekonstruktivnoi Plasticheskoi Khirurgii. 2010;(2):5-9. (In Russ.).
- Shtutin AA, Mikhaylichenko VYu, Shtutin IA, Samarin SA. Features of plastic closure of wound defects of distal parts of the lower extremity by sural flap. Plasticheskaya Khirurgiya Esteticheskaya Meditsina. 2021;(1):52-57. (In Russ.). doi: 10.17116/plast.hirurgia2021011521
- Kutyantov DI, Rodomanova LA. Modern principles and trends in the use of axial blood supply flap in reconstructive limb surgery. Travmatologiya Ortopediya Rossii. 2015;(1):106-115. (In Russ.).
- Shibaev EYu, Ivanov PA, Nevodov AV, Lazarev MP, Vlasov AP, Tsoglin LL, i dr. Treatment of post-traumatic soft tissue defects in the extremities. Zhurnal im NV Sklifosovskogo Neotlozhnaya Meditsinskaya Pomoshch'. 2018;7(1):37-43. (In Russ.). doi: 10.23934/2223-9022-2018-7-1-37-43
- Baytinger VF, Selyaninov KV. Reperfusion syndrome: vascular manifestations in the facial skin flap. Plasticheskaya Khirurgiya Esteticheskaya Meditsina. 2021;(2):40-47. (In Russ.). doi: 10.17116/plast.hirurgia202102140
- Tsapayeva NL, Tsapaev VG. Microcirculation (part 3 - methods of research on microcirculation). Neotlozhnaya Kardiologiya Kardiologiya Riski. 2024;8(2):2224-2236. (In Russ.). doi: 10.51922/2616-633X.2024.8.2.2224
- Malykhina IF, Nerobeev AI, Dobrodeev AS, Verbo EV, Garelik EI, Salikhov KS. Tissue oximetry: evaluation of the viability of free flaps in head and neck reconstruction. Voprosy Rekonstruktivnoi Plasticheskoi Khirurgii. 2015;18(2):11-24. (In Russ.).
- Nerobeev AI, Dobrodeev AS, Malykhina IF, Somova MM, Garelik EI. Criteria for survival of muscle lamella based on somatic tissue oximetry. Annaly Plasticheskoi Rekonstruktivnoi Esteticheskoi Khirurgii. 2014;(3):10-18. (In Russ.).
- Dobrodeev AS, Nerobeev AI, Malykhina IF, Verbo EV, Garelik EI. Tissue oximetry in evaluation of the viability of fibrillar lamellae in head and neck reconstruction. Khirurg. 2015;(5-6):60-68. (In Russ.).
- Bagyan AR, Malinin AA, Tsygankov YuM, Chomaeva AA. Microcirculation and oxygen treatment of skin flap tissue. Klinicheskaya Fiziologiya Krovoobrashcheniya. 2024;21(1):56-68. (In Russ.). doi: 10.24022/1814-6910-2024-21-1-56-68
- Bogdan VG, Trukhan AP, Sukharev AA, Fedorov KA; Belarus gos med un-t; 432-i GI voen klin med tsentr Vooruzh sil Resp Belarus'. Treatment of extensive defects of soft tissues of distal parts of the lower extremities by non-free neurovascular facial skin flaps: instruktsiya po primeneniyu № 076-0820: utv. M-vom zdavookhraneniya Resp Belarus' 26.08.2020 g. Minsk, RB; 2020. 7 p. (In Russ.).
- Ahmed SK, Fung BKK, Ip WY, Fok M, Chow SP. The versatile reverse flow sural artery neurocutaneous flap: A case series and review of literature. Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2008 Apr;3:15. doi: 10.1186/1749-799X-3-15
- Masquelet AC, Romana MC, Wolf G. Skin island flaps supplied by the vascular axis of the sensitive superficial nerves: anatomic study and clinical experience in the leg. Plastic and Reconstructive Surgery. 1992 Jun;89(6):1115-1121. doi: 10.1097/00006534-199206000-00018
- de Blacam C, Colakoglu S, Ogunleye AA, Nguyen JT, Ibrahim AMS, Lin SJ, et al. Risk factors associated with complications in lower-extremity reconstruction with the distally based sural flap: a systematic review and pooled analysis. Journal of Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgery. 2014 May;67(5):607-616. doi: 10.1016/j.bjps.2014.01.044
- Technical description of automated optical fiber spectrophotometer AvaSpec-256. URL: <https://www.avantes.ru/spectroavaspec256.php> [Accessed 15th August 2025]. (In Russ.).
- Venttsel ES. Theory of probability. 4-e izd, stereotip. Moscow, RF: Nauka, 1969. 576 p.

Submitted 18.07.2025

Accepted 22.08.2025

Сведения об авторах:

Федоров Константин Андреевич – начальник 2 травматологического отделения, ГУ «432 ордена Красной Звезды главный военный клинический медицинский центр Вооруженных Сил Республики Беларусь», <https://orcid.org/0009-0000-2838-1237>, e-mail: 137@tut.by;

В.Г. Богдан – д.м.н., профессор, академик-секретарь отделения медицинских наук Национальной академии наук Беларуси, <https://orcid.org/0000-0001-7849-6497>;

А.И. Кубарко – д.м.н., профессор, консультант кафедры нормальной физиологии, УО «Белорусский государственный медицинский университет».

Information about authors:

Fedorov Konstantin A. – head of the 2nd Trauma Department, 432 Order of the Red Star Main Military Clinical Medical Center of the Armed Forces of the Republic of Belarus, <https://orcid.org/0009-0000-2838-1237>, e-mail: 137@tut.by;

V.G. Bogdan, – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician-Secretary of the Chair of Medicine of the National Academy of Sciences of Belarus, <https://orcid.org/0000-0001-7849-6497>;

A.I. Kubarko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Consultant of the Chair of Normal Physiology, Belarusian State Medical University.