

Лазерная доплеровская флоуметрия при планировании реконструктивных операций на нижних конечностях

Н.А. Чередниченко,
П.А. Бадюл, С.В. Слесаренко,
Ф.И. Куликова

Днепропетровский центр
термической травмы
и пластической хирургии
Днепропетровский медицинский
институт традиционной
и нетрадиционной медицины

Кожа – традиционно доступный в клинической практике объект для функциональной диагностики состояния микроциркуляции. Изучение кожного покрова и его микроциркуляторного русла у человека актуально в аспекте уточнения топографо-анатомических особенностей кровоснабжения в различных областях тела для задач диагностики и лечения [1-8].

Проблема выбора при планировании реконструктивных операций лоскута определенного тканевого состава и типа кровоснабжения у пациентов со злокачественными опухолями мягких тканей нижних конечностей стоит особенно остро. Кровообращение перемещенного или пересаженного лоскута играет очень важную роль в восстановительных процессах. Хороший равномерный кровоток по всей поверхности лоскута делает его ткань устойчивой и к натяжению, и к раневой инфекции [1, 6, 7].

При выборе лоскута для восстановления мягкотканного окружения важно учитывать такие качества, как способность реваскуляризовать окружающие ткани, устойчивость к инфекции и санационные свойства, которые напрямую зависят от уровня кровообращения в ткани. Предложены различные методы объективной его оценки, такие как термографический контроль, пульсоксиметрия, тканевая оксиметрия, ангиография с флуоресцентными красителями. Однако, по мнению многих авторов [1, 3-5], наиболее широко распространенным, достоверным и удобным методом оценки перфузии ткани является лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ).

Этот метод успешно применяется для послеоперационного мониторинга за состоянием кровообращения в свободных реваскуляризованных лоскутах, для определения глубины поражения ткани при ожогах [1,3].

Цель статьи – показать информативность ЛДФ при планировании реконструктивных операций у пациентов со злокачественными опухолями мягких тканей нижних конечностей.

Материал и методы исследования

Предоперационное планирование перфорантных лоскутов методом ЛДФ и дистанционной инфракрасной термографии (референтный метод использован для контроля определённости интерпретации результатов ЛДФ) выполнено у 14 пациентов со злокачественными опухолями мягких тканей нижних конечностей (табл. 1). Контрольную группу составили 24 добровольца (сопоставимых с больными по гендерным и возрастным признакам) без соматических заболеваний, давших согласие на ЛДФ (контрольная группа).

Таблица 1.

Распределение больных с опухолями мягких тканей нижних конечностей по нозологическим формам.

Нозологическая форма	Количество больных	
	абс	%
Липосарком миксоидная	1	7,14
Саркома эпителиоидноподобная	3	21,43
Саркома светлоклеточная	2	14,29
Дерматофиброма	1	7,14
Гемангиома	2	14,29
Базалиома	3	21,43
Нейрофиброма	2	14,29
Всего	14	100,0

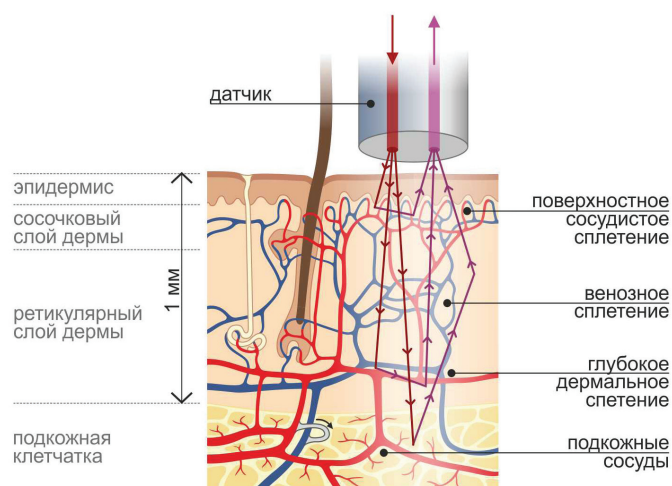


Рис. 1. Схема принципа работы лазерного доплеровского флоуметра [3].

Неинвазивный метод ЛДФ основан на определении перфузии ткани кровью путём измерения доплеровского сдвига частот, возникающего при зондировании ткани лазерным излучением (гелий-неоновым, $\lambda=632,8$ нм), с последующей регистрацией отражённого от подвижных и неподвижных компонентов ткани излучения (рис.1). ЛДФ-грамма – это практически суперпозиция множества колебательных ритмов сердечно-сосудистой системы с разной частотой и амплитудой. Глубина оптического зондирования ткани зависит от длины волны лазерного источника и от типа ткани. Для излучения на длине волны 632,8 нм она составляет около 1 мм. Регистрируемый при ЛДФ сигнал, например, с кожных покровов, характеризует кровоток в микрососудах в объеме около 1 мм³ ткани, в котором в среднем содержится $\approx 3,4 \times 10^4$ эритроцитов и около 200 микрососудов: примерно, 20 артериол, 110 капилляров, 40 посткапиллярных венул и 30 венул [3].

Измеряемый при ЛДФ показатель микроциркуляции (ПМ) определяется следующей формулой: $ПМ = K \times N_{эр} \times V_{ср}$, где K – коэффициент пропорциональности (с/мм•вольт), $N_{эр}$ – концентрация эритроцитов в зондируемом объеме ткани, $V_{ср}$ – средняя скорость эритроцитов в микроциркуляторном русле. Величина ПМ – это уровень перфузии объема ткани за единицу времени и измеряется в относительных перфузионных единицах (пф. ед.). *Общепринято, что использование классических абсолютных единиц, (мл/мин/100 г ткани) не целесообразно из-за характера кровотока в капиллярах, мелких кровеносных сосудах и раз-*

личиях в цвете и структуре кожи [3]. Объемная концентрация эритроцитов, или тканевой гематокрит ($N_{эр}$), зависит от капиллярного гематокрита ($H_{кп}$) и количества функционирующих капилляров в исследуемом объеме ($N_{к}$). Параметр $N_{к}$ характеризует геометрию потока эритроцитов в ткани, которая зависит от общей гемодинамики, строения микроциркуляторного русла и локальных органных особенностей кровотока, работы прекапиллярных сфинктеров и АВ-анастомозов, пре- и посткапиллярного сопротивления. Фактор $H_{кп}$ в большой степени определяется реологическими параметрами крови, застойными явлениями и стазом в микроциркуляторном русле.

Перфузия тканей кровью и, соответственно, регистрируемая величина ПМ имеет вариабельный и случайный характер. Поэтому при стандартном анализе ЛДФ-граммы определяются статистические средние значения величины перфузии тканей кровью [3]: **М – среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции (ПМ)**, характеризует средний поток эритроцитов в единице объема ткани в объёме интереса в интервале времени регистрации (пф. ед.); **σ – среднее квадратичное отклонение (СКО)** амплитуды колебаний кровотока от М (пф.ед.), характеризует величину временной вариации микроциркуляции, именуемую в микрососудистой семантике как флакс («flux»). Величина флакса важна для оценки состояния микроциркуляции и сохранности механизмов ее регуляции: чем выше флакс, тем лучше функционируют механизмы модуляции тканевого кровотока. Снижение величины флакса обычно свидетельствует об угнетении активных вазомоторных механизмов модуляции тканевого кровотока или преобладании в регуляции тонических симпатических влияний.

Интегральную характеристику соотношения механизмов активной и пассивной модуляции тканевого кровотока дает индекс флаксмоций (ИФМ), который определяется по соотношению амплитуд флуктуаций в физиологически значимых диапазонах частот, выявляемых при спектральном анализе ЛДФ-граммы: $ИФМ = ALF / (АНФ + АСФ)$. Этот индекс (ИФМ) характеризует эффективность регуляции модуляций в системе микроциркуляции. Нормирование амплитуды низкочастотных колебаний ALF относительно СКО (средней величины флакса) позволяет судить о микрососудистом тоне: $СТ = \sigma / ALF$.



Рис. 2. Флуориметр.

Использовался лазерный доплеровский флоуметр Moor VMS-LDF1 с комбинированным оптическим датчиком VP1T (рис. 2, 3). Запись ЛДФ-граммы производилась в положении пациента лежа, таким образом, чтобы измеряемая область на нижних конечностях находилась на уровне сердца.

Исследования выполнялись в соответствии к правилам и принципам биоэтики: больные были ознакомлены с содержанием диагностических процедур и подписали форму «Информированного согласия» в качестве исследуемых.

Результаты и их обсуждение

В рамках дифференцированного анализа индивидуально-типологических особенностей определены частота типов микроциркуляции и количественные показатели микроциркуляции крови кожных покровов нижних конечностей больных и здоровых добровольцев (табл. 2, 3).

Таблица 2.

Типы микроциркуляции у больных и лиц контрольной группы.

Тип микроциркуляции	Контрольная группа		Основная группа	
	абс	%	абс	%
Гиперемический	3	12,5	2	14,29
Мезоемический	17	70,8	9	64,29
Гипоемический	4	16,7	3	21,43
Всего	24	100,0	14	100,0

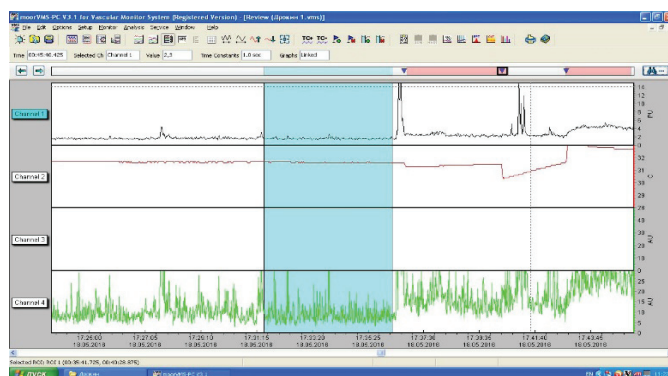


Рис. 3. Скрин-шот с интерфейса флуориметра. ЛДФ-грамма перфорантного кожного лоскута. Перфузия (верхняя кривая), температура лоскута (средняя) и концентрации эритроцитов (нижняя кривая) в лоскуте.

Полученные результаты по порядку величин находятся в соответствие с данными других исследователей, например, [3, 4] (табл. 4, 5).

Следует отметить, что единые показатели перфузии для определения глубины поражения кожи в зависимости от модификации прибора и методики исследования отсутствуют [3, 5]. Подчеркивается безусловная информативность ЛДФ, но в перспективе необходима стандартизация аппаратуры и показателей.

Данные полученные на этапе предоперационной подготовки с помощью ЛДФ, при сопоставлении с данными полученными с помощью динамической термографии, позволяли определить потенциальные размеры и расположение перфорантного лоскута за счет определения перфузии в участках кожи, которые планировалось включить в состав лоскутов. То есть, определения васкуляризационной территории перфорантов и характеристики кровотока [6-8].

Учитывая результаты ЛДФ исследований проводилась разметка кожных перфорантных лоскутов и после радикального удаления ново-

Таблица 3
Показатели микроциркуляции крови в кожных покровах бедра и голени

Тип микроциркуляции	ПМ, пф. ед.	СКО, пф. ед.	ИФМ, усл. ед.
Бедро (контрольная группа)			
Гиперемический	9,2±0,4	0,76±0,03	1,71±0,05
Мезоемический	7,8±0,3	0,68±0,04	1,64±0,05
Гипоемический	5,2±0,2	0,59±0,03	1,59±0,06
Голень (контрольная группа)			
Гиперемический	8,4±0,3	0,57±0,03	1,58±0,06
Мезоемический	6,1±0,3	0,54±0,04	1,52±0,04
Гипоемический	4,9±0,2	0,48±0,03	1,44±0,04
Бедро (основная группа)			
Гиперемический	8,1±0,3	0,71±0,04	1,56±0,04
Мезоемический	6,4±0,2	0,63±0,04	1,49±0,03
Гипоемический	4,4±0,2	0,51±0,03	1,38±0,03
Голень (основная группа)			
Гиперемический	7,0±0,3	0,52±0,04	1,48±0,03
Мезоемический	5,4±0,2	0,44±0,03	1,37±0,02
Гипоемический	4,1±0,1	0,32±0,04	1,29±0,02

Таблица 4.
Частота и семиотика типов микроциркуляции у здоровых мужчин [4].

Тип микроциркуляции	Частота, %	Семантика
Гиперемический	4	повышенный кожный кровоток и монотонная ЛДФ-грамма с высоким ПМ
Мезоемический	87	средней величины показатели ЛДФ-метрии и сбалансированность механизмов вазомоторной, метаболической и нейрогенной регуляции микроциркуляции
Гипоемический	9	низкий уровень кожного кровотока и монотонная ЛДФ-грамма с низким показателем ПМ

Таблица 5.
Показатели микроциркуляции крови в коже разных областей тела [4].

Область	ПМ, пф. ед.	СКО, пф. ед.	ИФМ, усл. ед.
Мочка уха	27,9 ±1,2	3,3±0,3	1,56±0,04
Бедро	6,5±0,3	0,7± 0,03	1,67±0,06
Голень	6,1±0,3	0,5±0,04	1,54±0,06
Медиальная лодыжка	6,1±0,2	0,6±0,03	1,57±0,06
Латеральная лодыжка	6,7±0,2	0,6±0,04	1,57±0,05
Стопа	7,2±0,4	0,6±0,1	1,53±0,05
Палец стопы (тыл)	6,9±0,4	0,8±0,1	1,59±0,06

образований были выполнены реконструктивные операции. Случаи частичного некроза тканей или признаки микроциркуляторных нарушений в перемещенных лоскутах, дизайн которых был подготовлен с учетом данных ЛДФ в основной группе больных отсутствовали.

Выводы

Определены частота типов микроциркуляции и количественные показатели микроциркуляции крови кожных покровов нижних конечностей больных и здоровых добровольцев.

ЛДФ исследование на этапе предоперационного планирования перфорантного лоскута позволяет оценить кровоснабжение (перфузию) участков кожи и потенциальную жизнеспособность этих участков в составе будущего лоскута. Полученная информация о перфузии кожи, включаемой в состав лоскута, позволила четко спланировать лоскуты по площади и расположению и выполнить успешные реконструкции без осложнений в виде частичных некрозов лоскутов.

Литература

1. Бадюл П. А. Влияние продлённой эпидуральной анестезии на уровень перфузии в перфорантных кожных лоскутах при реконструктивных вмешательствах на нижних конечностях / П. А. Бадюл // Пластична, реконструктивна і естетична хірургія. – 2016. – № 3-4. – С. 47-55.
2. Компьютерная термодиагностика / [А. Ф. Возианов, Л. Г. Розенфельд, Н. Н. Колотилов, С.А. Возианов]. – К., 1993. – 158 с.
3. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови: методическое пособие для врачей / [В. И. Козлов, Г. А. Азизов, О. А. Гурова, Ф. Б. Литвин]. – М.: Изд-во РУДН, 2012. – 31 с.
4. Морозов М. В. Морфофункциональное состояние микроциркуляции в коже различных топографо-анатомических областей тела человека: дис. ... кандидата мед. наук : спец. 14.00.02 / Морозов Михаил Васильевич. – М., 2008. – 241 с.
5. Неведров А. В. Пластика покровных тканей при оказании неотложной помощи пострадавшим с открытыми переломами костей голени: автореф дис. на соискание уч. степени канд. мед.: спец. 14.01.15, 14.01.17 / А. В. Неведров. – М., 2015. – 24 с.
6. Слесаренко С. В. Применение инфракрасной термографии для оптимизации планирования перфорантных лоскутов / С. В. Слесаренко, П. А. Бадюл // Пластична, реконструктивна і естетична хірургія. – 2016. – № 1-2. – С. 50-60.
7. De Weerd L. The value of dynamic infrared thermography (DIRT) in perforator selection and planning of free DIEP flaps / L. de Weerd, S. Weum, J. B. Mercer // Ann. Plast. Surg. – 2009. – Vol. 63. – P. 274-279.
8. Just M. Monitoring of microvascular free flaps following oropharyngeal reconstruction using infrared thermography: first clinical experiences / M. Just, C. Chalopin, M. Unger // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2015. – Vol. 273. – P. 1-9.
9. Белоусов А. Е. Пластическая, реконструктивная и эстетическая хирургия / А. Е. Белоусов. – СПб.: Гиппократ, 1998. – 744 с.

ЛАЗЕРНАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ ФЛОУМЕТРИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕКОНСТРУКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ У БОЛЬНЫХ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ ОПУХОЛЯМИ МЯГКИХ ТКАНЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

*Н.А. Чередниченко, П.А. Бадюл,
С.В. Слесаренко, Ф.И. Куликова*

Цель статьи – показать информативность лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) при планировании реконструктивных операций у больных злокачественными опухолями мягких тканей нижних конечностей.

Материал и методы. Предоперационное планирование перфорантных лоскутов методом ЛДФ и инфракрасной термографии (референтный метод) выполнено у 26 пациентов со злокачественными опухолями мягких тканей нижних конечностей. Контрольная группа для определения физиологических показателей ЛДФ – 24 добровольца.

Результаты. Определены частота типов микроциркуляции и количественные показатели микроциркуляции крови кожных покровов нижних конечностей больных и здоровых добровольцев. У больных выполнены разметка перфорантных лоскутов и реконструктивные операции.

Выводы. ЛДФ исследование на этапе предоперационного планирования перфорантного лоскута позволяет оценить кровоснабжение (перфузию) участков кожи и потенциальную жизнеспособность этих участков в составе будущего лоскута. Полученная информация о перфузии кожи, включаемой в состав лоскута, позволила четко спланировать лоскуты по площади и расположению и выполнить успешные реконструкции без осложнений в виде частичных некрозов лоскутов.

**ЛАЗЕРНА ДОПЛЕРІВСЬКА
ФЛОУМЕТРІЯ ПРИ ПЛАНУВАННІ
РЕКОНСТРУКТИВНИХ ОПЕРАЦІЙ
У ХВОРИХ НА ЗЛОЯКІСНІ ПУХЛИНИ
М'ЯКИХ ТКАНИН
НИЖНІХ КІНЦІВОК**

*Н.А. Чередниченко, П.А. Бадюл,
С.В. Слесаренко, Ф.І. Куликова*

Мета статті – показати інформативність лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) при плануванні реконструктивних операцій у хворих на злоякісні пухлини м'яких тканин нижніх кінцівок.

Матеріал і методи. Передопераційне планування перфорантних клаптів методом ЛДФ і інфрачервоної термографії (референтний метод) виконано у 26 пацієнтів із злоякісними пухлинами м'яких тканин нижніх кінцівок. Контрольна група для визначення фізіологічних показників ЛДФ – 24 добровольця.

Результати. Визначені частота типів мікроциркуляції і кількісні показники мікроциркуляції крові шкірних покривів нижніх кінцівок хворих і здорових добровольців. У хворих виконані розмітка перфорантних клаптів і реконструктивні операції.

Висновки. ЛДФ дослідження на етапі передопераційного планування перфорантного клаптя дозволяє оцінити кровопостачання (перфузію) ділянок шкіри і потенційну життєздатність цих ділянок у складі майбутнього

клаптя. Отримана інформація про перфузію шкіри, що включається до складу клаптя, дозволила чітко спланувати клапті за площею і розташуванням і виконати успішні реконструкції без ускладнень у вигляді часткових некрозів клаптів.

**LASER DOPPLER FLOWMETRY
AT RECONSTRUCTIVE OPERATIONS
PLANNING IN PATIENTS
WITH MALIGNANT
SOFT TISSUES TUMORS
OF LOWER EXTREMITIES**

*O.N. Cherednichenko, P.A. Badyul,
S.V. Slesarenko, F.I. Kulikova*

The purpose of the article is to demonstrate the informative value of laser Doppler flowmetry (LDF) in the reconstructive operations planning in patients with malignant soft tissues tumors of the lower extremities.

Material and methods. Preoperative planning of perforating flaps by the method of LDF and infrared thermography (reference method) was performed in 26 patients with malignant soft tissue tumors of the lower extremities. Control group for LDF physiological parameters definition composed 24 volunteers.

Results. The frequency of microcirculation types and quantitative indices of lower extremities skin blood microcirculation in patients and healthy volunteers are determined. Patients underwent perforating flaps marking and reconstructive surgery.

Conclusions. LDF at the stage of preoperative planning of the perforating flap allows to estimate the blood supply (perfusion) of skin areas and the potential viability of these areas as the part of future flap. The obtained information on the perfusion of the skin included into the flap allows to plan the flaps accurately in terms of area and location and to perform successful reconstructions without complications in the form of partial necrosis of the flaps.