

Динамическая инфракрасная термография в планировании реконструктивных операций на нижних конечностях

Н.А. Чередниченко^{1, 2},
П.А. Бадюл¹, С.В. Слесаренко¹,
Ф.И. Куликова^{3, 4}, О.И. Руденко

Днепропетровский центр термической травмы и пластической хирургии¹
Днепропетровская медицинская академия МОЗ Украины²
Днепропетровский медицинский институт традиционной и нетрадиционной медицины³
КУ «Днепропетровская областная клиническая больница им. И.И. Мечникова»⁴

Применение перфорантных лоскутов позволяет стратегически упростить пластическое закрытие обширных раневых дефектов, реваскуляризовать зону повреждения, получить стойкий к механическим воздействиям кожный покров (близкий по своим характеристикам к утраченному), уменьшить количество хирургических этапов и травмирование зоны формирования лоскута, сохранять интактными крупные сосуды [8, 13].

Решение проблемы гарантированного кровоснабжения лоскута после его диссекции и перемещения (причин осложнений при таких операциях) связано с точной идентификацией точек выхода перфорантных артерий, что обеспечивает быструю и надежную препаровку питающей сосудистой ножки, позволяет избежать нежелательных интра- и послеоперационных осложнений, и, соответственно, гарантировать положительный конечный результат хирургического лечения [9-11].

Выживаемость лоскута и частота осложнений напрямую зависят от уровня кровотока, поэтому для решения вопроса об оптимальном выборе лоскута для закрытия дефекта мягких тканей, необходимо детальное исследование особенностей перфузии перемещаемых тканей. Кровообращение перемещенного или пересаженного лоскута играет очень важную роль в восстановительных процессах зоны повреждения. Хороший равномерный кровоток по всей поверхности лоскута делает его ткань устойчивой как к механическому воздействию, так и к раневой инфекции [4, 12-14].

Цель статьи – показать информативность динамической инфракрасной термографии (ДИТ) при планировании реконструктивных

операций с использованием перфорантных лоскутов.

Материал и методы исследования

Предоперационное планирование перфорантных лоскутов при помощи ДИТ выполнено у 14 пациентов со злокачественными опухолями мягких тканей нижних конечностей (основная группа) (таблица). Контрольную группу составили 15 пациентов (сопоставимых с больными по гендерным и возрастным признакам), которым выполнялись подобные реконструкции без выполнения предоперационного планирования с помощью ДИТ (контрольная группа).

Таблица.

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

В исследованиях использовался инфракрасный термограф (рис. 1) со следующими характеристиками: температурный диапазон – 30°...42°C; спектральный диапазон – 8-14 микрометров; погрешность – ±0,3 %; единица измерения – °C, °F; поле зрения, пространственное разрешение – 25° x 19°, 1,37 миллирадиан; диапазон ручной фокусировки – 0,5 м до ∞; детектор – неохлаждаемый, фокальной плоскости; фоточувствительная матрица – 110592 пикселей; размер пикселя – 384 x 288 мкм; температурная чувствительность – 0.06°C на 30°C; фокусировка – ручная, 2X или 4X, цифровой Zoom; частота кадров – 50 Гц; цифровая камера – 3,2 мегапикселей; видеосигнал выхода – PAL; формат файла термограммы – JPEG + температура в 14 бит данных; формат файла фотографии – JPEG; габаритные размеры – 115 x 150 x 230 мм³; вес без батареи питания – 750 г. Обследование проводили в кабинете с условиями микроклимата, соответствующими требованиям точной клинической термодиагностики [1,2] (рис. 2). Калибровка камеры производилась с использованием абсолютно черного тела перед каждым исследованием. Подготовка больных соответствовала классическим правилам [2].

Планировании и разметка перфорантного лоскута при помощи термографии осуществлялась на основе холодного теста [3]: поверхность кожи охлаждали пакетом с охлаждающим гелем (+18...21°C). Через 5 минут пакет удаляли и регистрировали термотопографию охлажденной области в течение последующих 15 минут, до фазы нагревания кожи до значений исходной температуры. В процессе нагревания кожи на термограмме проявлялись «теплые» точки выхода перфорантов, как наиболее быстро нагревающиеся участки за счет поступления теплой крови в участок охлажденной кожи. В результате на термограммах получали изображение, где наглядно и однозначно (но кратковременно) визуализировались места выхода перфорантных сосудов. Гипертермические и гипотермические зоны между перфорантами позволяли оценивать состояние межперфорантных анастомозов и определять зону безопасного введения участков кожи в состав лоскута. Результат исследования: прецизионный дизайн лоскута по расположению и площади, а также точная локализация перфорантов (рис. 3-5).



Рис. 1. Инфракрасный термограф Dali TE-W2.



Рис. 2. Исследование термотопографии кожных покровов пациента, идентификация мест выхода перфорантов, разметка лоскутов.

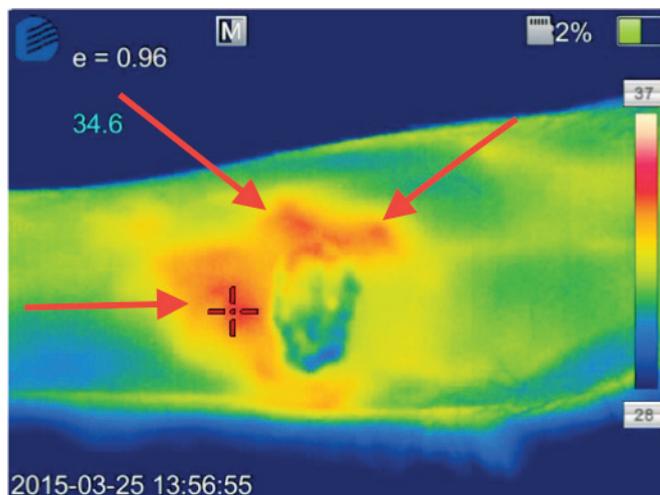


Рис. 3. Термограмма проксимальной трети правой голени. Стрелки (здесь и далее) – выход перфорантных кожных артерий.

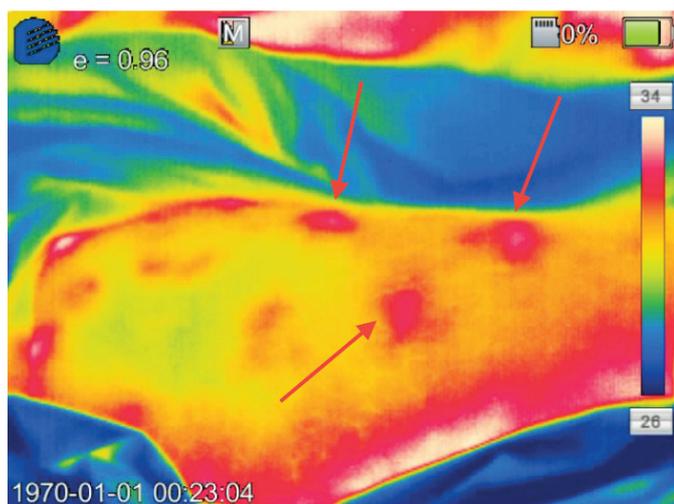


Рис. 4. Термограмма дистальной трети бедра по наружной поверхности.

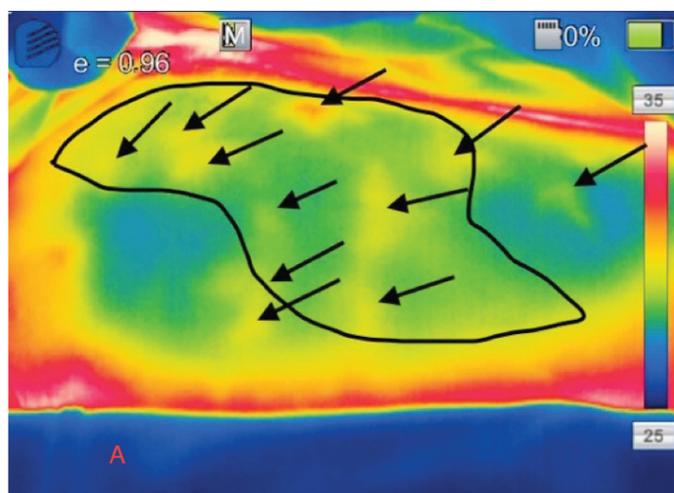


Рис. 5. А. Термограмма средней трети бедра по наружной поверхности. черный маркер – область желаемого формирования кожного лоскута. Стрелками отмечены точки выхода перфорантов. Б. Фотография дистальной трети бедра с нанесенной разметкой лоскута.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием статистического пакета “Microsoft® Excel 2016”. Проводили расчет значений среднего арифметического (M), среднеквадратической (стандартной) ошибки среднего арифметического (m), коэффициента парной корреляции. Достоверность различий между полученными показателями оценивали с помощью t-критерия Стьюдента ($p \leq 0,01$).

Исследования выполнялись в соответствии с правилами и принципами биоэтики: Больные были ознакомлены с содержанием диагностических процедур и подписали форму «Информированного согласия» в качестве исследуемых.

Результаты и их обсуждение

Во всех наблюдениях у больных на основе планирования и разметки лоскутов выполнены реконструктивные операции на нижних конечностях, пациенты выписаны с выздоровлением.

Длительность операции во всех случаях, где выполнялась термографические исследования (основная группа), была в среднем на 21,4 % короче, чем рутинные операции, где не выполнялась предоперационная визуализация перфорантов (контрольная группа), изменения признака статистически значимы ($p < 0,05$). Операции выполнялись одной и той же бригадой в один временной период, поэтому опыт хирургов не влиял на показатели.

На этапах препаровки лоскутов в процессе интраоперационной верификации показано полное совпадение анатомического расположения перфорантов к результатам, полученным на этапе планирования при помощи ДИТ. Случаев критических осложнений с полной утратой тканей не отмечалось, как и признаков микроциркуляторных нарушений в перемещённых лоскутах.

Некритические осложнения в основной группе в виде краевых некрозов тканей наблюдались у 1 больного (7,1 %) при площади лоскута – 82,5 см². В контрольной группе микроциркуляторные нарушения с последующими частичными некрозами лоскутов наблюдались в 5 случаях (33,3 %).

Применение ДИТ для предоперационной диагностики позволило точно лоцировать точку выхода доминирующего перфоранта в покровные

ткани. Это исследование являлось достаточным для определения дизайна лоскута и по своей диагностической информативности не отличалось от КТ ангиографии [5].

По мнению исследователей [7] точность ДИТ соответствует точности КТА при определении местоположения перфорантов. В отличие от КТА, ДИТ не позволяет визуализировать внутримышечный ход перфорантных сосудов, однако позволяет оценить состояние межперфорантных анастомозов.

В аспекте внедрения технологии отметим, что производство термографов освоено Физико-техническим институтом низких температур им. В.И. Веркина НАН Украины: за последние 20 лет разработано свыше 10 различных моделей термографов [6], позволяющих решать многочисленные задачи медицинской диагностики.

Выводы

Перфорантные артерии после гипотермической пробы кратковременно визуализируются на термограмме как гипертермические точки.

Интраоперационная верификация показала, что проведение термографического исследования в зоне формирования лоскута позволило быстро и точно идентифицировать перфоранты и определить возможный дизайн планируемого лоскута.

Литература

1. Розенфельд Л. Г. Способы активной термографии в медицине: состояние вопроса и перспективы / Л. Г. Розенфельд, Н. Н. Колотиллов // Медицинская радиология. – 1987. – № 5. – С. 81-85.
2. Розенфельд Л. Г. Методика и техника термографии / Л. Г. Розенфельд, Н. Н. Колотиллов // Мед. радиология. – 1992. – № 5-6. – С. 48-50.
3. Розенфельд Л. Г. Дистанционная инфракрасная термография: достижения, современные возможности, перспективы / Л. Г. Розенфельд, В. Ф. Мачулин, Е. Ф. Венгер, Н. Н. Колотиллов // Лікарська справа. – 2007. – № 5-6. – С. 119-124.
4. Слесаренко С. В. Предоперационная локация перфорантных артерий при помощи инфракрасной термографии / С. В. Слесаренко, П. А. Бадюл, К. С. Слесаренко // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. – 2016. – № 1 (56). – С. 13-19.
5. Чередниченко Н. О. Особенности визуализации перфорантных сосудов на этапе предоперационного планирования перфорантных лоскутов методом компьютерной томографии с ангиографией / Н. О. Чередниченко, П. О. Бадюл, С. В. Слесаренко, Ф. И. Куликова // Лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2017. – № 1. – С. 26-28.
6. Шустакова Г. В. Термографы ФТИНТ НАН Украины: медицинский аспект / Г. В. Шустакова, Ю. А. Винник, Г. С. Ефимова [и др.] // Лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2013. – № 1. – С. 27-33.
7. Chubb D. P. True and 'choke' anastomoses between perforator angiosomes: part II. Dynamic thermographic identification / D. P. Chubb, G. I. Taylor, M. W. Ashton // Plast. Reconstr. Surg. – 2013. – Vol. 132. – P. 1457-1464.
8. 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. – V. 63. – P. 274-279.
9. Hardwicke J. Detection of Perforators Using Smartphone Thermal Imaging / J. Hardwicke, O. Osmani, J. Skillman // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2016. – V. 137, № 1. – P. 39-41.
10. Mohan A. T. Advances in imaging technologies for planning breast reconstruction / A. T. Mohan, M. Saint-Cyr // Gland Surg. – 2016. – Vol. 5(2). – P. 242-254. doi: 10.3978/j.issn.2227-684X.2016.01.03.
11. Salmi A. M. Thermographic mapping of perforators and skin blood flow in the free transverse rectus abdominis musculocutaneous flap / A. M. Salmi, E. Tukiainen, S. Asko-Seljavaara // Ann. Plast. Surg. – 1995. – Vol. 35. – P. 159-164.
12. Sheena Y. Detection of Perforators Using Thermal Imaging / Y. Sheena, T. Jennison, J. Hardwicke // Plast. Reconstr. Surg. – 2013. – V. 132, № 6. – P. 1603-1610.
13. Yu P. Efficacy of the handheld Doppler in preoperative identification of the cutaneous perforators in the anterolateral thigh flap / P. Yu, A. Youssef // Plast. Reconstr. Surg. – 2006. – V. 118. – P. 928-933.
14. Zetterman E. Effect of cooling and warming on thermographic imaging of the perforating vessels of the abdomen / E. Zetterman, A. M. Salmi, S. Suominen // Eur. J. Plast. Surg. – 1999. – Vol. 22. – P. 58-61.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНФРАКРАСНАЯ ТЕРМОГРАФИЯ В ПЛАНИРОВАНИИ РЕКОНСТРУКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЯХ

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

Цель статьи – показать информативность динамической инфракрасной термографии (ДИТ) при планировании реконструктивных операций с использованием перфорантных лоскутов.

Материал и методы исследования. Предоперационное планирование перфорантных лоскутов при помощи инфракрасного термографа Dali TE-W2 выполнено у 14 пациентов со злокачественными опухолями мягких тканей нижних конечностей. Контрольная группа – 24 добровольца, сопоставимых с больными по гендерным и возрастным признакам, без соматических заболеваний.

Результаты. Длительность операции во всех случаях, где выполнялась термографические исследования (основная группа), была в среднем на 21,4 % короче, чем рутинные операции, где не выполнялась предоперационная визуализация перфорантов (контрольная группа), изменения признака статистически значимы ($p < 0,05$). Количество частичных некрозов в основной группе составило 7,1 %, а в контрольной группе – 33 %.

Выводы. Интраоперационная верификация показала, что проведение термографического исследования в зоне формирования лоскута позволило быстро и точно идентифицировать перфоранты и определить возможный дизайн планируемого лоскута.

ДИНАМІЧНА ІНФРАЧЕРВОНА ТЕРМОГРАФІЯ В ПЛАНУВАННІ РЕКОНСТРУКТИВНИХ ОПЕРАЦІЙ НА НИЖНІХ КІНЦІВКАХ

*Н.А. Чередниченко, П.А. Бадюл,
С.В. Слесаренко, Ф.І. Кулікова, О.І. Руденко*

Мета статті – показати інформативність динамічної інфрачервоної термографії (ДІТ) при плануванні реконструктивних операцій з використанням перфорантних клаптів..

Матеріал і методи дослідження. Передопераційне планування перфорантних клаптів за

допомогою інфрачервоного термографа Dali TE-W2 виконано у 14 пацієнтів із злоякісними пухлинами м'яких тканин нижніх кінцівок. Контрольна група – 24 добровольця, порівнянних з хворими з гендерних та віковими ознаками, без соматичних захворювань.

Результати. Тривалість операції у всіх випадках, де виконувалася термографічні дослідження (основна група), була в середньому на 21,4% коротше, ніж рутинні операції, де не виконувалася передопераційна візуалізація перфорантів (контрольна група), зміни ознаки статистично значущі ($p < 0,05$). Кількість часткових некрозів в основній групі склало 7,1 %, а в контрольній групі – 33 %.

Висновки. Інтраопераційна верифікація показала, що проведення термографічного дослідження в зоні формування клаптя дозволило швидко і точно ідентифікувати перфоранти і визначити можливий дизайн планованого клаптя.

DYNAMIC INFRARED THERMOGRAPHY IN THE PLANNING OF RECONSTRUCTIVE SURGERY ON THE LOWER LIMBS

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

The purpose of the article is to demonstrate the informative value of dynamic infrared thermography (DIT) in the reconstructive surgery planning in patients with soft tissues of the lower limbs malignant tumors.

Material and methods. Pre-operational planning of perforating flaps with the help of infrared thermograph Dali TE-W2 was performed in 14 patients with soft tissues of the lower limbs malignant tumors. Control group – 24 volunteers, comparable with patients on gender and age, without somatic diseases.

Results. Surgery duration in all cases of thermographic studies (the main group) was in average 21.4 % shorter than routine operations where the preoperative visualization of the perforators (control group) was not performed, the sign changes were statistically significant ($p < 0.05$). The number of partial necrosis in the main group was 7.1 %, and in the control group – 33 %.

Conclusions. Intraoperative verification demonstrated that thermographic study in the flap formation area made it possible to quickly and accurately identify the perforators and the possible design of the planned flap.