

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РУБЦОВЫХ ТКАНЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ЛИЦЕ

УДК 617.52–089.844–003.92–06–073:681.7

Поступила 12.05.2014 г.



Н.Л. Короткова, к.м.н., старший научный сотрудник отделения реконструктивной и пластической хирургии;

М.Г. Воловик, к.б.н., старший научный сотрудник отделения функциональной диагностики

Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр Минздрава России, Н. Новгород, 603155, Верхне-Волжская наб., 18

Цель исследования — изучить возможности тепловизионного метода для оценки функционального резерва кровоснабжения рубцовых тканей лица, используемых при кожно-пластических операциях.

Материалы и методы. С помощью тепловизора Thermo Tracer TH-9100 обследовали 37 больных с послеожоговыми рубцами на лице и передней поверхности шеи (всего 126 рубцовых областей, планируемых для выкраивания лоскутов) и 4 здоровых добровольца. После регистрации нативной (исходной) тепловой картины проводили стандартную региональную спиртовую пробу и последующий мониторинг пространственно-временной динамики температур в течение 7 мин. С целью выработки критерия пригодности тканей для кожной пластики вычисляли $\Delta T = T_{нач} - T_{кон}$, где $T_{нач}$ — исходная температура до пробы, $T_{кон}$ — температура на 7-й минуте восстановления после пробы.

Результаты. Полученные данные по динамике термореакций рубцовых тканей позволяют оценить возможность использования этих тканей в качестве материала для кожной пластики. Критерии основаны на тепловизионных данных динамики восстановления исходной температуры нормальными и пораженными рубцами тканями. Разность исходной и достигаемой к 7-й минуте холодной пробы температур менее 0,9°C свидетельствует о пригодности исследуемых тканей для кожной пластики. Отставание восстановления температуры более чем на 1,9°C свидетельствует о непригодности рубцовых тканей. При разности температур в диапазоне от 0,9 до 1,9°C использование рубцовых тканей следует считать рискованным.

Заключение. Разработанная тепловизионная методика оценки функционального состояния кровоснабжения рубцовых тканей лица позволяет определить критерии возможности использования рубцовых тканей при местно-пластических операциях на лице и дифференцировать ткани, пригодные для местной кожной пластики, от непригодных.

Ключевые слова: тепловидение; послеожоговые рубцы лица; реконструктивно-пластическая хирургия.

English

Thermal Imaging Assessment of Cicatricial Tissue Capabilities in Facioplasty Planning

N.L. Korotkova, PhD, Senior Researcher, Department of Reconstructive Surgery;

M.G. Volovik, PhD, Senior Researcher, Department of Functional Diagnostics

Privolzhsky Federal Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation, 18 Verkhne-Volzhskaia naberezhnaya St., Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation

The aim of the investigation was to study the capabilities of thermal imaging to estimate the functional reserves of blood supply of facial cicatricial tissues used in skin grafting.

Materials and Methods. Using an infrared thermal imager Thermo Tracer TH-9100 we examined 37 patients with post-burn scars on the face and anterior surface of the neck (total: 126 scar areas planned for flap dissection) and 4 healthy volunteers. After recording a native (original) thermal picture, we carried out a standard local alcohol test with further monitoring of space-time temperature dynamics for 7 min. To develop a criterion of tissue suitability for skin grafting, we calculated $\Delta T = T_{init} - T_{fin}$, where T_{init} was the initial temperature before the test, and T_{fin} — the temperature on the 7th minute of test recovery.

Results. The obtained data on the thermal reaction dynamics of cicatricial tissues enable to evaluate the capability to use these tissues as skin grafting material. The criteria are based on thermal imaging findings of the dynamics of initial temperature recovery of healthy and cicatricial tissues. If the temperature difference by the 7th minute of the examined tissues is below 0.9°C by the end of the alcohol test, the tissues can

Для контактов: Короткова Надежда Леноктовна, e-mail: korotkova-home@mail.ru

be used for skin grafting. The temperature recovery lag by more than 1.9°C indicates inapplicability of cicatricial tissues for skin grafting. The temperature difference in the range from 0.9 to 1.9°C should be considered risky.

Conclusion. The developed thermal image technique to assess the functional state of facial cicatricial tissue blood supply enables to determine the criteria of cicatricial tissue availability for minor facio-plasty, and differentiate suitable and unsuitable tissues.

Key words: thermal imaging; post-burn facial scars; reconstructive plastic surgery.

У пациентов с последствиями ожогов лица обезображивание вследствие рубцовых изменений порождает тяжелые психологические и социальные проблемы. Современные методы реконструктивно-пластической хирургии [1, 2 и др.] позволяют замещать обширные рубцовые участки, восстанавливая поврежденный кожный покров, что далеко не всегда возвращает пациенту утраченный внешний вид [3]. При тяжелых ожогах ограничения, связанные с отсутствием донорских мест, обуславливают использование местной кожной пластики в качестве одного из основных методов лечения последствий ожогов лица. В таких случаях хирургам приходится вынужденно использовать рубцовые ткани [4, 5].

Поэтому остается актуальной задачей оценка пригодности патологически измененных тканей для местной кожной пластики, обусловленная бедной васкуляризацией зрелых рубцов, которые могут быть использованы для кожной пластики. Знания о функциональном резерве их кровоснабжения — основание для утверждения о перспективности использования для пластики того или иного участка рубцово-измененных кожных покровов.

Исследование резервов микроциркуляции в поврежденных ожогом тканях упирается в поиск методов адекватной оценки. На сегодняшний день в медицинской практике для оценки кровоснабжения рубцовых тканей наиболее часто применяются лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и полярография [6]. Ограничением методов ЛДФ и полярографии является локальность измерений — только в зоне постановки датчика. При обширных рубцово-измененных участках кожных покровов, когда при планировании оперативного вмешательства необходима панорамная оценка зоны поражения и прежде всего дифференциальная оценка участков с различным кровоснабжением, оптимальным методом для такого рода «картирования» рубцовых тканей мы считаем инфракрасное тепловидение [7].

Подтверждением обоснованности выбора основного метода исследования для данной работы служит в том числе зарубежная практика применения тепловидения для оценки послеожоговых рубцов. Первый опыт применения тепловидения для решения близкой проблемы приведен В.Г.Н. Lamberty с соавт. (1979) [8]), где авторы оценивали состояние лоскутов и прогнозировали их отторжение по тепловизионным данным. В ряде работ описано использование тепловидения для оценки состояния послеожоговых рубцово-измененных кожных покровов. Так, доказана ценность данных о поверхностной температуре как показателе кожного кровообра-

щения [9]. В работе [8] тепловизионный метод применили для поиска оптимальных сосудов-перфорантов перед выкраиванием свободных лоскутов, референтным методом служила ЛДФ. Исследования последних лет посвящены опыту предоперационной тепловизионной оценки перфорантных сосудов планируемых кожных лоскутов [10, 11], в том числе — с использованием функциональной пробы в виде обдувания кожных покровов прохладным воздухом [12].

В то же время мы не встретили работ, посвященных применению тепловидения для оценки функционального резерва кровотока рубцовых тканей, без знания которого невозможен прогноз поведения этих тканей в ближайшем послеоперационном периоде.

Цель исследования — изучить возможности тепловизионного метода для оценки функционального резерва кровоснабжения рубцовых тканей лица, используемых при кожно-пластических операциях.

В процессе работы решались следующие задачи:

1) исследовать терморельеф лица у больных с послеожоговыми рубцовыми деформациями в сравнении с таковым у испытуемых со здоровыми кожными покровами;

2) разработать нагрузочную пробу, позволяющую оценить функциональный резерв микроциркуляции различных областей рубцово-измененной поверхности лица;

3) выявить корреляцию тепловизионных параметров и клинических данных о состоянии кровообращения в рубцовых тканях;

4) с учетом тепловизионных и клинических данных оценить пригодность рубцово-измененных тканей для местной кожной пластики.

Материалы и методы. Исследования проведены в помещении с постоянной температурой 20–22°C на тепловизоре Thermo Tracer TH-9100 (NEC, Япония), работающем в спектральном диапазоне 8–14 мкм, обладающем чувствительностью 0,025–0,03°C при погрешности ±1% и разрешением инфракрасной матрицы 320×240 пикселей.

Накануне оперативного вмешательства на лице больного с помощью безопасного маркера наносили схему планируемых линий разрезов для формирования лоскутов. Тепловизионное обследование начинали с регистрации нативной (исходной) тепловой картины, затем проводили региональную спиртовую пробу [13] с помощью 70° спирта, распыляемого из пульверизатора с расстояния 10 см на поверхность исследуемой области лица. Динамику восстановления температурных полей регистрировали в виде термофильма длительностью 7 мин после аппликации хладагента. С целью

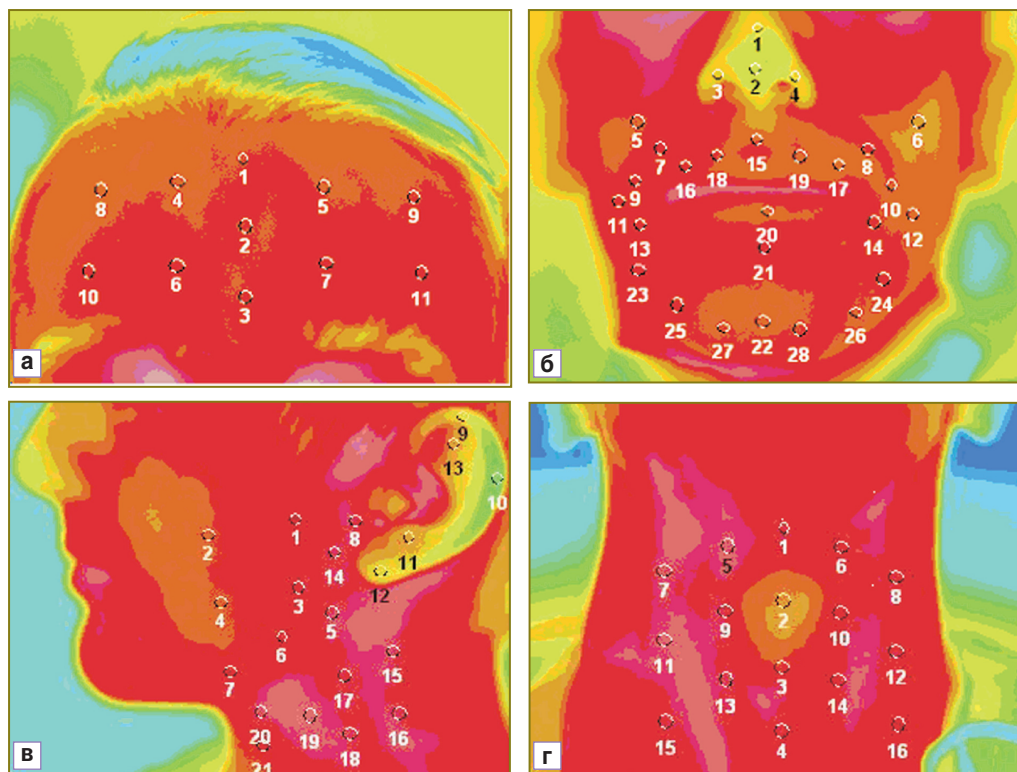


Рис. 1. Схема измеряемых областей на термокартах лица и шеи здорового мужчины 28 лет: а — 11 областей измерения на лбу; б — 28 областей на лице анфас; в — 21 область на лице слева (аналогично — симметричная разметка 21 области справа); г — 16 областей на передней поверхности шеи

выработки критерия пригодности различных областей кожных покровов для местной пластики вычисляли $\Delta T = T_{нач} - T_{кон}$, где $T_{нач}$ — исходная температура до пробы, $T_{кон}$ — температура на 7-й минуте восстановления после пробы.

Обследовано 37 больных с послеожоговыми рубцами на лице и передней поверхности шеи (всего 126 рубцовых областей, планируемых для выкраивания лоскутов), из них 26 мужчин и 11 женщин (средний возраст — 27 лет). В четырех экспериментах на здоровых добровольцах мужского пола с нормальными кожными покровами на лице (средний возраст — 25 лет) регистрировали динамику восстановления температур после спиртовой пробы в 97 областях лица и передней поверхности шеи (рис. 1).

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (принятой в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотренной в октябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия)) и одобрено Этическим комитетом Приволжского федерального медицинского исследовательского центра. От каждого пациента получено информированное согласие.

При клинической оценке рубцово-измененных тканей использовали клиническую классификацию П.В. Сарыгина [5], основанную на ванкуверской шкале [14, 15] и предоставляющую критерии для определения возможности использования рубцов в качестве пластического материала при реконструктивных операциях.

Анализ данных проводили на персональном компьютере с помощью программы обработки термоизображений Goratec Thermography Studio (GTS 5.1.1.011). По результатам каждой функциональной пробы построены графики зависимости температуры от времени и проведен статистический анализ данных в программной среде Statistica 6.1. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. В ходе нативного тепловизионного исследования тканей лица мы получили данные, в соответствии с которыми использовать известные критерии — разницу температур рубцовых и расположенных рядом здоровых тканей более 1°C [5, 16] — оказалось проблематично. По нашим данным, участки рубцов, непригодные для пластики (оценка по клинической балльной шкале более 5), имели градиент температур с неповрежденными кожными покровами в симметричной или близлежащей области более 1°C . Однако разница температур в 1°C наблюдалась и на клинически пригодных рубцовых тканях, а также на здоровых участках кожных покровов лица, поэтому данный критерий оказался недостаточным для оценки пригодности/непригодности рубцовых тканей для пластики. Кроме того, использование этого критерия предполагает возможность сравнивать температуру рубца с окружающей неповрежденной кожей, что при ожогах на лице возможно редко. Это связано с особенностями сложного рельефа лица и его кровоснабжения.

На нативных (исходных) термокартах разные участки здоровых кожных покровов лица имеют разные термохарактеристики с разбросом между максимальными и минимальными значениями температуры (при одинаковой адаптации до измерений) в 7–8°C; перепад температуры может составить 2–3°C при сравнении, например, области в проекции носогубного треугольника с отстоящей от нее всего на 0,5 см области на щеке.

В то же время, по литературным данным, области лица при больших выборках статистически значимо однородны по термохарактеристикам и их можно было бы при необходимости использовать в качестве зон сравнения. В работе [17] показано, что, независимо от уникальности рисунка подкожного кровотока для каждого человека, на лице существуют 7 эквитермальных регионов — разных областей с относительно однородной температурой. Однако у больных с последствиями ожогов часто поражены обе половины лица, что делает невозможным их сравнение. Необходимо также учитывать установленную физиологическую термоасимметрию разных областей кожных покровов лица [18]. Однако при наличии неповрежденной симметричной области мы также не всегда можем сравнивать ее с поврежденной, так как локализация на разных сторонах лица снижает корректность данных исследования (вращение головы, необходимость двукратного замера и т.д.).

Выходом из этой ситуации послужила разработка функциональной нагрузочной пробы, позволяющей выявить не так называемую температурную норму в термотопографии лица, а норму реакции — характерную динамику восстановления температур после аппликации на кожные покровы хладагента. Из полученных термограмм реакций на спиртовую пробу в 28 областях в нижней части лица здорового испытуемого (рис. 2) следует, что терморезакции во всех участках нормальных кожных покровов независимо от исходных значений температуры однотипны, а их флюктуации не превышают 0,2°C, что сравнимо с погрешностью прибора.

Разработанная методика была использована для выявления проблемных участков рубцовых тканей. При охлаждении грубых рубцов, непригодных для использования в качестве пластического материала, установлено, что такие рубцовые ткани не восстанавливают исходной температуры к 7-й минуте исследования. Это может служить признаком снижения в них

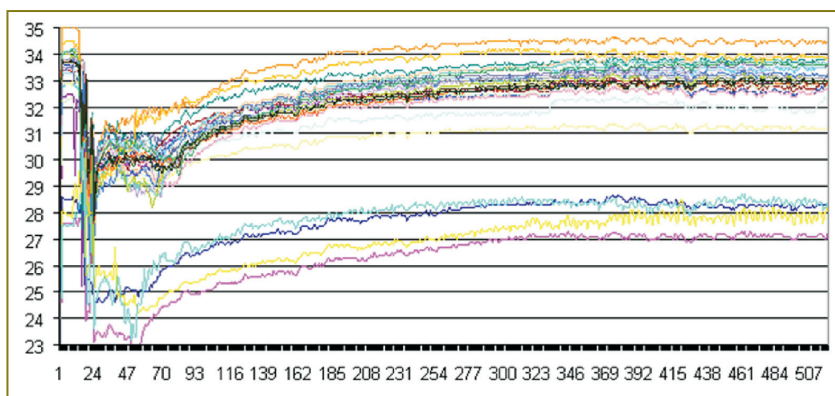


Рис. 2. Динамика температур после спиртовой пробы в 28 областях на лице здорового испытуемого К., 28 лет. Нижние 4 кривые — область носа (зоны 1–4, см. рис. 1), остальные — зоны 5–28. Ось X — время, с; ось Y — температура, °C

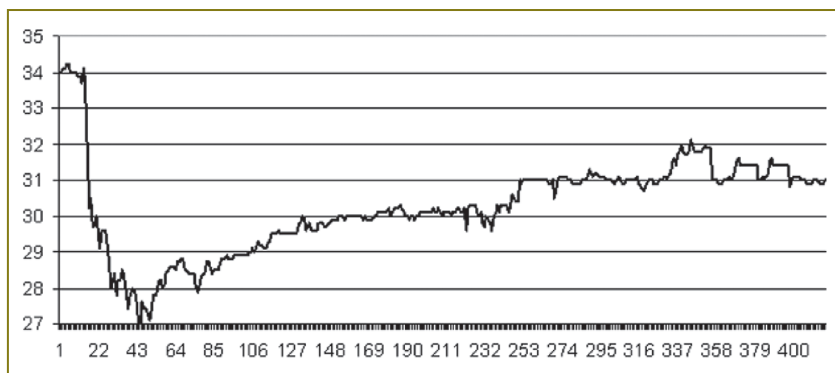


Рис. 3. Характерная температурная реакция на пробу в рубце, непригодном для кожной пластики (по клиническим признакам). Ось X — время, с; ось Y — температура, °C

кровотока. Исследование грубого рубца показало отставание в восстановлении исходной температуры на 3°C к 7-й минуте после пробы (рис. 3).

Показатели температуры ($T_{кон}$) рубцово-измененных тканей лица, пригодных по клинической оценке к использованию для пластических операций, к 7-й минуте статистически значимо ($p < 0,001$) достигали значений, близких к исходным ($T_{исх}$). Разница температур попадала в диапазон от -0,8 до +0,9°C. Разница температур непригодных для пластики тканей попадала в диапазон от 1,9 до 2,5°C. У одного пациента при исследовании рубцов ушных раковин разница температур составила 5,5 и 8°C. Морфологическое исследование после иссечения этих рубцов диагностировало их келоидный характер. Также выделили 24 рубцовых участка, которые по клинической шкале относились к пригодным, но их использование на лице не представлялось возможным. Значения параметра ΔT при выполнении пробы в этих участках находились в диапазоне от 0,9 до 1,9°C.

В таблице приведены статистические данные, характерные для рубцов обоих типов (клинически пригодных и непригодных для пластики по тепловизионным данным).

Статистические данные термореакций в рубцово-измененных тканях

Рубцовые ткани	ΔT_{cp}	Стандартная ошибка	Медиана	Процентиль 10,00000	Процентиль 90,00000	p
Пригодные для пластики (n=95)	-0,337	0,0467	-0,4	-0,9	0,3	<0,001
Непригодные для пластики (n=31)	-1,820	0,2543	-1,5	-2,3	-1	<0,001

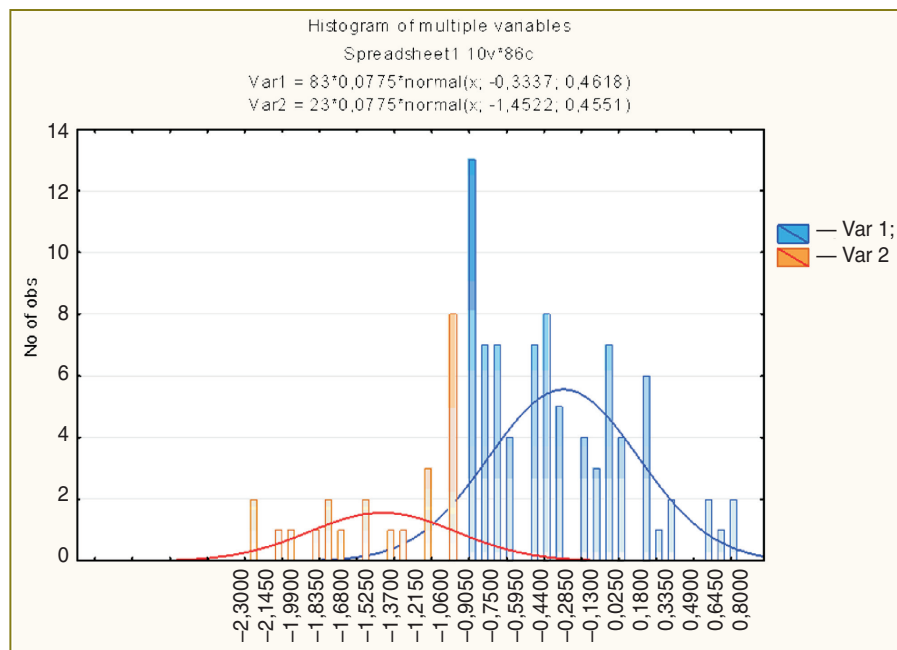


Рис. 4. Диаграмма размаха по группам: Var 1 — рубцовые ткани, пригодные для пластики (n=95); Var 2 — рубцовые ткани, непригодные для пластики (n=31). Ось X — разница температур $\Delta T = T_{нач} - T_{кон}$ для рубцовых тканей в конце спиртовой пробы, °C

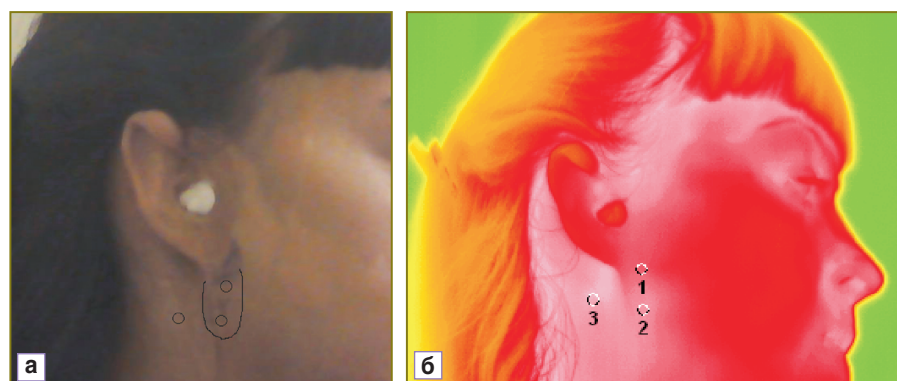


Рис. 5. Внешний вид пораженной области (правого уха) у больной С. с разметкой оперативного пособия (а) и ее термокарта (б). 1–3 — области измерения температуры

Достоверность различий значений, полученных для этих двух групп, разных по качеству кровоснабжения кожных покровов, демонстрирует диаграмма распределения в них температур (рис. 4).

Полученные данные иллюстрирует следующее клиническое наблюдение.

Больная С., диагноз: «послеожоговая рубцовая деформация мочки правой ушной раковины». Клинически — мочка уха припаяна, кожа в окружности мочки ушной раковины рубцово изменена. В околоушной области произведена разметка кожно-жирового лоскута с проксимальным основанием для

формирования мочки уха (рис. 5, а). Ткани планируемого лоскута рубцово изменены. При тепловизионном исследовании с функциональной пробой выявлено, что разница исходной температуры и температуры к 7-й минуте холодной пробы составила 0,6°C (проксимальный отдел) и 0,8°C (дистальный отдел) (рис. 6, а, б). На операции произведено формирование мочки ушной раковины с использованием исследованного лоскута. В послеоперационном периоде ишемических нарушений не наблюдалось.

Проведенные исследования не исчерпывают всех возможностей функционального тепловидения.



Рис. 6. Внешний вид правого уха и рубцово-измененных тканей околоушной области у больной С. на операции: а — нанесена схема рубцового лоскута; б, в — этапы операции

Представляют интерес разработка более тонких критериев в соответствии с гистологической структурой рубцов, оценка скорости и динамики восстановления кровотока в измененных рубцовым процессом тканях. Интра- и послеоперационный мониторинг состояния кровотока в перемещенных лоскутах также перспективен для проверки эффективности дооперационных критериев.

Заключение. Данные по динамике термореакций рубцовых тканей, свидетельствующей об их функциональном состоянии, позволяют оценить возможность использования этих тканей в качестве материала для кожной пластики. Разработан тепловизионный критерий оценки пригодности рубцовых тканей для местно-пластических операций. Если при проведении спиртовой пробы разность исходной и достигаемой к 7-й минуте температур меньше, чем 0,9°C, такие ткани можно использовать в качестве пластического материала. Отставание восстановления температуры более чем на 1,9°C свидетельствует о непригодности рубцовых тканей для кожной пластики. Использование участков кожных покровов, имеющих при пробе разность температур в диапазоне от 0,9 до 1,9°C, следует считать рискованным, в этом случае желательно либо выбирать альтернативные методы кожной пластики, либо использовать подобные рубцовые ткани при минимальном соотношении длины и ширины кожного лоскута.

Финансирование исследования и конфликт интересов. Исследование не финансировалось какими-либо источниками, и конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

Литература

1. D'Souza A.L., Nelson N.G., McKenzie L.B. Pediatric burn injuries treated in US emergency departments between 1990 and 2006. *Pediatrics* 2009; 124(5): 1424–1430, <http://dx.doi.org/10.1542/peds.2008-2802>.
2. Парк С. Местные и региональные кожные лоскуты. В кн.: *Пластическая и реконструктивная хирургия лица*. Под ред. Пейпла А.Д. М: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2007; с. 565–585.
3. Короткова Н.Л., Иванов С.Ю. Хирургическая тактика лечения больных с последствиями ожогов лица. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии* 2012; 4: 10–17.
4. Дмитриев Г.И., Короткова Н.Л., Охотина Л.А., Богосьян Р.А. Новые хирургические технологии в лечении последствий ожогов лица и шеи. *Травматология және ортопедия* 2008; 1(13): 97–99.
5. Сарыгин П.В. Хирургическое лечение последствий ожогов шеи и лица. Автореф. дис. ... докт. мед. наук. М; 2005.
6. Бархударова Н.Р. Повышение эффективности хирургической реабилитации детей с послеожоговыми рубцовыми деформациями и контрактурами суставов конечностей с использованием реконструктивно-пластических операций. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М; 2009.
7. Воловик М.Г., Короткова Н.Л. Применение тепловидения для оценки кровоснабжения послеожоговых рубцов лица. В кн.: *Труды X Междунар. конф. «Прикладная оптика-2012»*. СПб; 2012; с. 136–140.
8. Tenorio X., Mahajan A., Montandon D., Pittet B. Dynamic infrared imaging in reconstructive surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2005; 116(3): 147–149, <http://dx.doi.org/10.1097/00006534-200509011-00123>.
9. Pau H.W., Sievert U., Graumüller S., Wild E. Incisions for cochlear implant flaps and superficial skin temperature. *Skin temperature/blood circulation in CI flaps. Otolaryngol Pol* 2004; 58(4): 713–719.
10. Chubb D., Rozen W.M., Whitaker I.S., Ashton M.W. Images in plastic surgery: digital thermographic photography (“thermal imaging”) for preoperative perforator mapping. *Ann Plast Surg* 2011; 66(4): 324–325, <http://dx.doi.org/10.1097/SAP.0b013e31820bcc5e>.
11. de Weerd L., Weum S., Mercer J.B. Dynamic infrared thermography: a useful tool in the preoperative planning of deep inferior epigastric perforator flaps. *Ann Plast Surg* 2012; 68(6): 639–640, <http://dx.doi.org/10.1097/SAP.0b013e318244413a>.
12. Ring E.F.J., Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas* 2012; 33(3): R33–R46, <http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/R33>.
13. Воловик М.Г., Водопьянов К.А. Тепловизионный контроль качества продленной проводниковой анестезии у детей. *Российский нейрохирургический журнал им. А.Л. Поленова* 2011; 3(спец. вып.): 18–21.
14. Nedelec B., Shankowsky H.A., Tredget E.E. Rating the

resolving hypertrophic scar: comparison of vancouver scar scale and scar volume. *J Burn Care Rehabil* 2000; 21(3): 205–212, <http://dx.doi.org/10.1097/00004630-200021030-00005>.

15. Mustoe T.A., Cooter R., Gold M.H., Hobbs R., Ramelet A.-A., Shakespeare P., et al. International clinical recommendations on scar management. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2002; 110(2): 560–571, <http://dx.doi.org/10.1097/00006534-200208000-00031>.

16. Охотина Л.А. Хирургическая реабилитация больных с рубцовыми деформациями и контрактурами шеи после ожога. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Н. Новгород; 1997.

17. Черемисина Е.Н., Баша Н.С. Распознавание личности по термографическим изображениям лица: современное состояние, перспективы развития. Системный анализ в науке и образовании 2012; 2. URL: <http://www.sanse.ru/archive/24>.

18. Дурново Е.А., Потехина Ю.П., Марочкина М.С., Мочалова Д.А. Разработка и анализ особенностей термографических карт челюстно-лицевой области в зависимости от пола и возраста. Российский стоматологический журнал 2013; 3: 4–9.

References

1. D'Souza A.L., Nelson N.G., McKenzie L.B. Pediatric burn injuries treated in US emergency departments between 1990 and 2006. *Pediatrics* 2009; 124(5): 1424–1430, <http://dx.doi.org/10.1542/peds.2008-2802>.

2. Park S. Mestnye i regional'nye kozhnye loskuty. V kn.: *Plasticheskaya i rekonstruktivnaya khirurgiya litsa* [Local and regional skin flaps. In: Facial surgery and reconstructive surgery]. Pod red. Peypla A.D. [Peypla A.D. (editor)]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2007; p. 565–585.

3. Korotkova N.L., Ivanov S.Yu. Surgical approach in patients after face burn after-effects. *Annaly plasticheskoy, rekonstruktivnoy i esteticheskoy khirurgii* 2012; 4: 10–17.

4. Dmitriev G.I., Korotkova N.L., Okhotina L.A., Bogos'yan R.A. New surgical technologies in the treatment of sequellae of burns of face and neck. *Travmatologiya zhene ortopediya* 2008; 1(13): 97–99.

5. Sarygin P.V. *Khirurgicheskoe lechenie posledstviy ozhogov shei i litsa*. Avtoref. dis. ... dokt. med. nauk [Surgical treatment of sequellae of burns of face and neck. Abstract for the Doctoral degree of Medical Sciences]. Moscow; 2005.

6. Barkhudarova N.R. *Povyshenie effektivnosti khirurgicheskoy rehabilitatsii detey s posleozhogovymi rubtsovymi deformatsiyami i kontrakturami sustavov konechnostey s ispol'zovaniem rekonstruktivno-plasticheskikh operatsiy*. Avtoref. dis. ... kand. med. nauk [Enhancement of efficiency of surgical rehabilitation of children with postburn cicatricial deformities and contractures of extremity joints using reconstructive operation. Abstract for the Dissertation of Candidate of Medical Sciences]. Moscow; 2009.

7. Volovik M.G., Korotkova N.L. Primenenie teplovideniya dlya otsenki krovosnabzheniya posleozhogovykh rubtsov litsa. V kn.: *Trudy X Mezhdunar. konf. "Prikladnaya optika-2012"* [Thermal imaging application to estimate blood supply of after burn facial scars. In: Proceedings of X International Conference "Applied optics-2012"]. *Saint Petersburg*; 2012; p. 136–140.

8. Tenorio X., Mahajan A., Montandon D., Pittet B. Dynamic infrared imaging in reconstructive surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2005; 116(3): 147–149, <http://dx.doi.org/10.1097/00006534-200509011-00123>.

9. Pau H.W., Sievert U., Graumüller S., Wild E. Incisions for cochlear implant flaps and superficial skin temperature. Skin temperature/blood circulation in CI flaps. *Otolaryngol Pol* 2004; 58(4): 713–719.

10. Chubb D., Rozen W.M., Whitaker I.S., Ashton M.W. Images in plastic surgery: digital thermographic photography ("thermal imaging") for preoperative perforator mapping. *Ann Plast Surg* 2011; 66(4): 324–325, <http://dx.doi.org/10.1097/SAP.0b013e31820bcc5e>.

11. de Weerd L., Weum S., Mercer J.B. Dynamic infrared thermography: a useful tool in the preoperative planning of deep inferior epigastric perforator flaps. *Ann Plast Surg* 2012; 68(6): 639–640, <http://dx.doi.org/10.1097/SAP.0b013e318244413a>.

12. Ring E.F.J., Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas* 2012; 33(3): R33–R46, <http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/R33>.

13. Volovik M.G., Vodop'yanov K.A. Thermal imaging quality control of prolonged regional anesthesia in children. *Rossiyskiy neyrokhirurgicheskii zhurnal im. A.L. Polenova* 2011; 3(special issue): 18–21.

14. Nedelec B., Shankowsky H.A., Tredget E.E. Rating the resolving hypertrophic scar: comparison of vancouver scar scale and scar volume. *J Burn Care Rehabil* 2000; 21(3): 205–212, <http://dx.doi.org/10.1097/00004630-200021030-00005>.

15. Mustoe T.A., Cooter R., Gold M.H., Hobbs R., Ramelet A.-A., Shakespeare P., et al. International clinical recommendations on scar management. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2002; 110(2): 560–571, <http://dx.doi.org/10.1097/00006534-200208000-00031>.

16. Okhotina L.A. *Khirurgicheskaya rehabilitatsiya bol'nykh s rubtsovymi deformatsiyami i kontrakturami shei posle ozhoga*. Avtoref. dis. ... kand. med. nauk [Surgical rehabilitation of patients with cicatricial deformities and contractures of neck after burns. Abstract for the Dissertation of Candidate of Medical Sciences]. Nizhny Novgorod; 1997.

17. Cheremisina E.N., Basha N.S. Personal identification by thermal imaging of face: the current state, development prospects. *Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii* 2012; 2. URL: <http://www.sanse.ru/archive/24>.

18. Durnovo E.A., Potekhina Yu.P., Marochkina M.S., Mochalova D.A. Development and analysis of thermal maxillofacial mapping according to sex and age. *Rossiyskiy stomatologicheskii zhurnal* 2013; 3: 4–9.