

## Прогноз результата кожной пластики по параметрам микроциркуляции в ожоговой ране

Е.В. Зиновьев, В.В. Солошенко , Д.В. Костяков, Т.З. Гогохия, А.С. Коуров, С.Н. Пятаков

Отдел термических поражений

ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе»

Российская Федерация, 192242, Санкт-Петербург, Будапештская ул., д. 3, лит. А

✉ **Контактная информация:** Солошенко Виталий Викторович, доктор медицинских наук, доцент, врач-хирург отдела термических поражений ГБУ «СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе». Email: [burncenter.vs@gmail.com](mailto:burncenter.vs@gmail.com)

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Неравномерность и мозаичность по глубине ожогового поражения кожи ограничивает возможности выполнения прецизионной тангенциальной некрэктомии в ранние сроки после травмы. Нерадикальная некрэктомия приводит к лизису пересаженных аутодермотрансплантатов. Наиболее актуальна данная проблема в лечении пострадавших с обширными дермальными и глубокими ожогами.

### ЦЕЛЬ

Изучить зависимость между параметрами микроциркуляции в ожоговой ране и результатами аутодермотрансплантации после выполнения тангенциальной некрэктомии.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Хирургическое лечение 74 пациентов с обширными ожогами кожи, включенных в исследование, осуществляли путем тангенциальной некрэктомии с одновременной аутодермотрансплантацией. Все операции выполняли в ранние сроки (до 10 суток) после травмы до формирования линии демаркации. Параметры микроциркуляции в ожоговой ране изучали методом лазерной доплеровской флоуметрии до и после тангенциальной некрэктомии и в здоровой коже той же анатомической области.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Выявлены статистически значимые различия (при  $p \leq 0,001$ ) между параметрами микроциркуляции непосредственно в ожоговой ране после выполнения тангенциальной некрэктомии и на контрольном участке неповрежденной кожи. В этом случае результаты аутодермотрансплантации характеризовались частотой приживления кожи до 60–70%. В тех областях тела, где различий между показателями микроциркуляции не было, результаты приживления превысили 80%.

### ВЫВОДЫ

Оценка микроциркуляции методом лазерной доплеровской флоуметрии может явиться достоверным методом диагностики состояния и жизнеспособности ожоговой раны после тангенциального иссечения погибших тканей в ранние сроки лечения – до формирования демаркационной линии. Методика диагностики проста в применении, однако требует навыков работы с флоуметром, унификации таких приборов и методик их использования в практике хирургического лечения ожогов.

### Ключевые слова:

ожоги, тангенциальная некрэктомия, аутодермотрансплантация, лазерная доплеровская флоуметрия

### Ссылка для цитирования

Зиновьев Е.В., Солошенко В.В., Костяков Д.В., Гогохия Т.З., Коуров А.С., Пятаков С.Н. Прогноз результата кожной пластики по параметрам микроциркуляции в ожоговой ране. *Журнал им. Н.В. Склифосовского неотложная медицинская помощь*. 2022;11(3):412–418. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-3-412-418>

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

ЛДФ — лазерная доплеровская флоуметрия  
п.т. — поверхность тела  
ПФ ЕД — перфузионные единицы

### ВВЕДЕНИЕ

При оказании помощи пострадавшим с глубокими ожогами краеугольным камнем является раннее хирургическое лечение как патогенетический путь лечения ожоговой травмы. Удаление слоя погибших тканей с одновременной аутодермотрансплантацией согласно Национальным клиническим рекоменда-

циям наиболее оптимально выполнять до 10–14-х суток, т.е. в ранние сроки после травмы, в периоде ожоговой токсемии и начала септикококсемии, на фоне продолжающейся интенсивной терапии [1].

Ключевым моментом такого хирургического вмешательства является формирование жизнеспособ-

ной раневой поверхности для аутодермотрансплантации, так как существование обширной открытой раны приводит к ухудшению состояния пострадавшего. Для выполнения тангенциальной некрэктомии важна ранняя диагностика глубины ожога. Визуальная неравномерность и мозаичность поражения кожи при операции приводит к травматизации ее жизнеспособных структур. В случае нерадикальности некрэктомии в ране останутся участки некроза, что приведет к отторжению пересаженных аутодермотрансплантатов. Клиническая оценка в таких наблюдениях является точной только в 65% случаев, так как дифференциация между поверхностным и глубоким ожогом затруднена [2, 3].

Большинство авторов отмечают, что результат хирургического вмешательства зависит от шага глубины иссечения дерматома, угла наклона его лезвия по отношению к иссекаемой поверхности, анатомических особенностей рельефа тела [4]. Результаты анализа морфологической картины иссеченного слоя погибших тканей после 146 тангенциальных некрэктомий свидетельствуют, что данная хирургическая манипуляция часто приводит к удалению всего слоя дермы, в результате чего обнажаются и высыхают ее жизнеспособные участки. Это свидетельствовало об отсутствии селективности вмешательства [5].

Аутодермотрансплантация на послеоперационную раневую поверхность после выполнения тангенциальной некрэктомии требует достоверных критериев жизнеспособности дна раны. Применение лазерной доплеровской флоуметрии зарекомендовало себя как высокоинформативный метод диагностики поверхностных и глубоких ожогов кожи [6–10]. Вследствие различных технических подходов и возможных интерпретаций полученных результатов данный метод диагностики глубины ожогов признан достаточно субъективным и эффективно применяем лишь в отдельных ожоговых центрах.

В настоящем исследовании изучена связь между параметрами микроциркуляции в ожоговой ране после выполнения тангенциальной некрэктомии и эффективностью кожной пластики.

**Цель и задачи исследования.** Изучить зависимость между параметрами микроциркуляции в ожоговой ране и результатами аутодермотрансплантации после тангенциальной некрэктомии.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Методом лазерной доплеровской флоуметрии оценить особенности показателей микроциркуляции ожоговой поверхности после выполнения тангенциальной некрэктомии;
2. Изучить параметры микроциркуляции ожоговой поверхности после тангенциальной некрэктомии и аналогичными параметрами на контрольном участке неповрежденной кожи, а также определить статистическую значимость выявленных различий;
3. Установить зависимость между выявленными особенностями показателей микроциркуляции (в ране и в неповрежденной коже) и результатами кожной пластики.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Показатель микроциркуляции оценивали у 74 обожженных с обширными пограничными и глубокими ожогами до субфасциальных структур, госпитализиро-

ванных в отдел термических поражений ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе в период с 2017 по 2021 год. При ожогах глубже собственной фасции кожи выполняли иные виды некрэктомий и (или) ампутации сегментов конечностей. В исследование не включены пострадавшие от действия электрического тока, а также пациенты со смертельным исходом.

У всех обожженных хирургическое лечение проводили в течение 3–10 суток после травмы. Среди пострадавших большинство составляли мужчины — 60 наблюдений (81,1%). Их средний возраст составил  $47,52 \pm 13,95$  года. При этом средний возраст женщин соответствовал  $58,93 \pm 16,77$  года. У мужчин общая площадь ожогового поражения составляла  $28,77\% \pm 17,66\%$  поверхности тела (п.т.), при этом глубокий ожог —  $17,79 \pm 13,3\%$  п.т., у женщин распределение по общей площади и глубине оказалось аналогичным:  $30,07\% \pm 14,4\%$  п.т. и  $15,64 \pm 8,07\%$  п.т. соответственно. Ранние тангенциальные некрэктомии с одновременной аутодермотрансплантацией выполняли на площади  $7,9 \pm 3,69\%$  п.т. у мужчин и  $8,21 \pm 2,67\%$  п.т. у женщин.

Наиболее частыми поражающими факторами у обожженных являлись: пламя — 61 пострадавший (82,43%), горячая жидкость — 7 наблюдений (9,46%), контактные ожоги — 6 пациентов (8,11%).

Для изучения параметров микроциркуляторного русла ожоговых ран выполняли лазерную доплеровскую флоуметрию (ЛДФ) прибором «ЛАКК-02» (ЛАЗМА, Россия). Регистрацию ЛДФ-грамм выполняли в соответствии с руководством для врачей «Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови» под редакцией А.И. Крупаткина и соавторов (2005). Полученная ЛДФ-грамма представляет собой обобщающую характеристику колебательных ритмов, которые имеют свою частоту и амплитуду. Ее запись сопровождается автоматическим расчетом стандартных статистических параметров. Методика выполнения исследования представлена на рис. 1.

Для диагностики глубины поражения кожи ЛДФ использована как способ, позволяющий судить о кровообращении в слоях дермы. Объем зондируемой ткани определяется расположением световодов датчика и оптическими параметрами светового зонда, который для используемого прибора составлял  $1 \text{ мм}^3$ . Регистрацию ЛДФ-грамм производили в операционной при комнатной температуре ( $20\text{--}22^\circ\text{C}$ ). Для получения контрольных параметров микроциркуляции выполняли оценку ЛДФ близлежащей неповрежденной кожи или на контралатеральном сегменте неповрежденной конечности.

Исследование ожоговой раны начиналось с периферии (зона поверхностного поражения) и постепенно продвигалось вглубь раны, фиксируя параметры микроциркуляции по ходу движения датчика. В случае их снижения более чем в 2 раза от нормы в ране производили разметку границы глубокого поражения для последующего тангенциального иссечения данного участка ожоговой раны. Повторно флоуметрию на этом же участке проводили после тангенциального удаления слоя ткани. В случае восстановления параметра микроциркуляции рану считали пригодной к аутодермотрансплантации. На основании сопоставления полученного показателя перфузии в послеоперационной раневой поверхности с показателем микроциркуляции в коже неповрежденного участка такой же

локализации делали вывод о ее жизнеспособности и пригодности к аутодермотрансплантации.

Для выполнения тангенциальной некрэктомии использовали как дисковые, так и дерматомы возвратно-поступательного действия, которые позволяли более точно дозировать толщину иссекаемого слоя ткани (от 0,3 до 1 мм). Иссечение струпа выполняли пошагово до достижения визуально жизнеспособного слоя кожи. Капиллярное кровотечение со дна раны не всегда означало ее готовность к пересадке кожи, что подтверждается нашим опытом. Кроме клинических данных для оценки жизнеспособности раневой поверхности после выполнения тангенциальной некрэктомии использовали метод ЛДФ. Если ожоговая рана была представлена плотным струпом и показатель микроциркуляции равен нулю, то это свидетельствует о гибели всех слоев кожи. В этом случае тангенциальная некрэктомия нецелесообразна, и операцией выбора на данном участке являлась фасциальная некрэктомия.

Результаты приживления аутодермотрансплантатов оценивали на 7-е сутки после операции, что соответствовало началу прорастания капилляров в пересаженную ткань по 5-бальной шкале оценки процента площади приживления: 90–100% — 5 баллов, 80–90% — 4 балла, 70–80% — 3 балла, 60–70% — 2 балла, менее 60% — 1 балл. Данная шкала была выбрана нами для более детальной оценки результатов.

Все пострадавшие были разделены на три группы в зависимости от локализации зоны ожогового поражения, подлежащей хирургическому лечению: 23 операции на туловище, 22 наблюдения — верхние конечности, 29 случаев — нижние конечности. На голове и шее тангенциальную некрэктомию не выполняли.

Статистическую обработку материала осуществляли с использованием пакетов программ *MS Word*, *MS Excel* и *SPSS Statistics 17.0*. Выборки сравнивали по средним значениям со стандартным отклонением. Учитывая малый объем анализируемых групп при расчете показателя достоверности, применяли непараметрический критерий *U-Манна-Уитни*. Альтернативную гипотезу принимали при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установлено, что наиболее высокая интенсивность и, соответственно, показатель микроциркуляции регистрировали в неповрежденной коже верхних конечностей. Его величина составила в среднем по группе  $6,02 \pm 0,95$  перфузионных единиц (ПФ ЕД), что соответствует норме. До иссечения струпа ожоговая рана (струп) характеризовалась низким показателем микроциркуляции в  $1,48 \pm 0,87$  ПФ ЕД, что позволяло считать эту область зоной глубокого поражения, подлежащего тангенциальной некрэктомии с одномоментной аутодермотрансплантацией. Участки ожоговой раны с показателем 0 ПФ ЕД подвергались фасциальной некрэктомии в ходе вмешательства или позднее, однако результаты аутодермотрансплантации в них не оценивались, так как не являлись предметом исследования.

После иссечения струпа величина показателя микроциркуляции практически вернулась к нормальным значениям во всех клинических наблюдениях ран верхних конечностей и составила в среднем по группе  $5,41 \pm 0,83$  ПФ ЕД, что позволило хирургу выполнить аутодермотрансплантацию. Статистически значимых различий между параметрами микроциркуляции из



Рис. 1. Интраоперационное исследование параметров микроциркуляции: А — периферия ожоговой раны (зона поверхностного поражения); В — центр ожоговой раны (предполагается зона глубокого поражения); С — непораженная кожа на том же сегменте тела (нормальные значения микроциркуляции)

Fig. 1. Intraoperative study of microcirculation parameters: A — periphery of the burn wound (zone of superficial injury); B — the center of the burn wound (suspected zone of deep damage); C — unaffected skin on the same segment of the body (normal microcirculation parameters)

послеоперационной поверхности ожоговой раны и из близлежащего участка здоровой кожи не обнаружено.

При исследовании параметров микроциркуляции в ожоговых ранах нижних конечностей в области предполагаемого глубокого ожога выявлена величина показателя микроциркуляции  $0,58 \pm 0,49$  ПФ ЕД, после некрэктомии она увеличивалась до  $2,87 \pm 0,43$  ПФ ЕД. При этом в контрольной зоне (здоровая кожа) эта величина составляла  $3,18 \pm 0,52$  ПФ ЕД. Статистически значимых различий между последними двумя значениями не получено, что позволило считать рану пригодной к аутодермотрансплантации.

На туловище величина микроциркуляции в здоровой коже составляла  $5,19 \pm 1,01$  ПФ ЕД. В области предполагаемого глубокого ожога получено значение в  $1,41 \pm 0,96$  ПФ ЕД, что служило подтверждением наличия глубокого ожога, хирургическое лечение которого возможно с использованием методики тангенциальной некрэктомии.

После иссечения струпа в области туловища величина показателя микроциркуляции составляла  $3,9 \pm 0,82$  ПФ ЕД. При этом рана визуально была готова к трансплантации расщепленного кожного трансплантата. Основываясь на клинических данных, в этих наблюдениях выполняли аутодермотрансплантацию. В дальнейшем при проведении статистической обработки были установлены статистически значимые различия между значениями микроциркуляции в центре послеоперационной раны и в здоровой коже.



Средние значения величины параметров микроциркуляции в различных анатомических зонах, выявленные в процессе хирургического лечения, приведены в табл. 1.

На основании 5-балльной шкалы оценки приживления оценили средний результат по группе, соответствующей определенной анатомической области. В 22 случаях хирургического лечения глубоких ожогов верхних конечностей после выполнения тангенциальной некрэктомии с одновременной аутодермотрансплантацией результат приживления составил  $4,45 \pm 0,74$  балла (в большинстве случаев «отличный» результат).

В группе пациентов с глубокими ожогами нижних конечностей (29 случаев) средний балл составил  $3,93 \pm 0,65$ , что в большинстве случаев характеризовалось как «хороший» результат. В третьей группе больных, где зона ожогового поражения охватывала в основном боковые и заднюю поверхность туловища, средний балл приживления составил  $2,35 \pm 1,11$  балла, что в большинстве случаев явилось «неудовлетворительным», так как клинически рана выглядела готовой к трансплантации. При этом толщина иссеченного струпа на некоторых участках задней поверхности туловища доходила до 3 мм.

Результаты тангенциальной некрэктомии с одновременной аутодермотрансплантацией в зависимости от локализации ран в анализируемых группах пациентов приведены в табл. 2.

При локализации ожогов в области верхних конечностей наиболее часто фиксировали высокую эффективность кожной пластики после тангенциальной некрэктомии, соответствующей значениям в 5 и 4 балла — 13 (59,1%) и 6 наблюдений (27,3%) соответственно. В 3 балла оценен результат у 3 пострадавших (13,64%) этой группы.

В группе пациентов, хирургическое вмешательство которым было выполнено на нижних конечностях, анализируемый показатель имел меньшие значения. Так, в 4 балла по предложенной шкале был оценен результат аутодермотрансплантации в 17 наблюдениях (58,6%), 5 баллов отмечено у 5 пострадавших (22,7%), в 3 балла зафиксировано в 7 наблюдениях (24,14%).

Наибольшее число неудовлетворительных результатов отмечено при операциях на туловище: 1 балл — у 5 обожженных (21,7%) и 2 балла — у 10 пострадавших (43,5%), 3 балла — у 4 пострадавших (17,39%), «хороший» результат определен у 3 (13,04%) и «отличный» — только у одного (4,35%).

На рис. 2–4 представлены этапы лечения пациента с дермальным ожогом задней поверхности туловища.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании проведенного анализа можно заключить, что отсутствие различий между величиной показателей микроциркуляции в центре раневой поверхности после тангенциального иссечения погибших тканей и величиной показателя микроциркуляции в неповрежденной коже того же сегмента тела позволяет ожидать «хорошего» и «отличного» результатов приживления аутодермотрансплантатов на этой послеоперационной поверхности.

Напротив, статистически значимые различия между анализируемым параметром микроциркуляции ожоговой раны и участка здоровой кожи являются плохим прогностическим признаком для приживления ауто-

Таблица 1

#### Параметры микроциркуляции кожи в различных анатомических зонах

Table 1

#### Parameters of skin microcirculation in various anatomical zones

Анатомическая область исследования	Показатель микроциркуляции (перфузионная единица) ( $M \pm m$ )		
	Здоровая кожа	Рана до иссечения струпа	Рана после иссечения струпа
Туловище	$5,19 \pm 1,01^*$	$1,41 \pm 0,96$	$3,9 \pm 0,82^*$
Верхние конечности	$6,02 \pm 0,95$	$1,48 \pm 0,87$	$5,41 \pm 0,83$
Нижние конечности	$3,18 \pm 0,52$	$0,58 \pm 0,49$	$2,87 \pm 0,43$

Примечание: U-критерий Манна–Уитни — \* различия между значениями «здоровая кожа» и «рана после иссечения» статистически значимы при  $p \leq 0,001$

Note: Mann-Whitney U-test — \* differences between the values of “healthy skin” and “wound after excision” are significant at  $p \leq 0.001$

Таблица 2

#### Приживление аутодермотрансплантатов в группах наблюдениях

Table 2

#### Autodermatograftment in the observation groups

Анатомическая область	Эффективность операции, баллы					Итого
	1	2	3	4	5	
Верхние конечности	0	0	3	6	13	22
Нижние конечности	0	0	7	17	5	29
Туловище	5	10	4	3	1	23
Итого	5	10	14	26	19	74



Рис. 2. Пациент В. 43 года. Ожог пламенем 32% (15%)/ II–III степени туловища, конечностей. Стадия ожоговой токсемии. Произведена разметка глубокого и пограничного ожога

Fig. 2. Patient V., 43 years old. II–III degree flame burn 32% (15%) of the trunk, limbs. Stage of burn toxemia. Marking of deep and borderline burns was performed



Рис. 3. Ожоговая рана после тангенциального иссечения ожогового струпа

Fig. 3. Burn wound after tangential excision of the burn eschar

дермотрансплантата. Данный факт является указанием для хирурга: необходимо выполнить повторное удаление слоя ткани ожоговой раны для достижения жизнеспособного участка либо воздержаться от аутодермопластики. Безусловно, в каждом случае следует исходить из анатомической области, так как толщина эпидермиса и дермы значительно варьирует в зависимости от локализации: тыл кисти — 1,01–2,71 мм, передняя поверхность предплечья — 1,21–1,78 мм, плеча — 1,89–2,10 мм, задняя поверхность предплечья и плеча — 2,28–3,04 мм, грудь — 1,97–3,00 мм, задняя поверхность туловища — от 2,66 до 4,76 мм. Углубление некрэктомии до подкожной жировой клетчатки делает невозможным выполнение аутодермотрансплантации, а ее срок переносит до формирования грануляционной ткани. По задней поверхности туловища дерматомом с шагом лезвия в 0,5 мм возможно выполнить 5–6 проходов по раневой поверхности до достижения жизнеспособного слоя, характеризующегося теми же цифрами параметра микроциркуляции, что и на смежном участке неповрежденной кожи. В то же время при локализации ожога на тыле кисти тангенциальное иссечение струпа с шагом лезвия 0,6 мм может быть выполнено только один раз во избежание обнажения сухожилий разгибателей при повторном проходе лезвия дерматома.

С учетом литературных данных нами подтверждены нормативные показатели состояния микроциркуляции у молодых мужчин в коже головы, туловища и основных сегментов верхней и нижней конечностей [11, 12], но учитывая тяжесть состояния пострадавших и возможные изменения микроциркуляции, мы предпочли в качестве контроля использовать параметры микроциркуляции в неповрежденном участке кожи пострадавшего. Данный факт позволил нам обойтись без создания групп сравнения для определения нормальных величин показателя микроциркуляции при патологии и в норме. Как показал опыт, для приживания трансплантата важны не удельные значения пара-



Рис. 4. На область глубокого ожога уложен аутодермотрансплантат. На участках поверхностного поражения использованы раневые покрытия  
Fig. 4. An autodermal graft was placed on the deep burn area. Wound dressings were used on superficial lesions

метра микроциркуляции ожоговой раны, а отсутствие различий между ними и здоровой кожей.

### ВЫВОДЫ

1. На основании проведенного анализа можно заключить, что отсутствие различий между величинами параметров микроциркуляции послеоперационной поверхности и участком здоровой кожи обеспечивает гарантию жизнеспособности и ее пригодность к аутодермотрансплантации с коэффициентом приживления более 80%.

2. Оценка микроциркуляции методом лазерной доплеровской флоуметрии может явиться достоверным способом диагностики при разработке единых критериев в оценке состояния ожоговой раны после тангенциального иссечения погибших тканей в ранние сроки — до формирования демаркационной линии.

3. Методика диагностики проста в применении, однако требует навыков работы с флоуметром, унификации приборов и выработки алгоритма ее использования в практике хирургического лечения ожогов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хирургическое лечение пострадавших от ожогов: клинические рекомендации. Москва, 2015. URL: <http://xn----9sdbbejx7bduahou3a5d.xn--p1ai/upload/Hirurgicheskoe-lechenie-postradavshih-ot-ozhogov2.pdf> [Дата обращения 04 июля 2022г.]
2. Li F, Chi Y, Hu Q, Yin K, Liu W, Chen Q, et al. Effects of minimally invasive tangential excision in treating deep partial-thickness burn wounds on trunk and limbs in pediatric patients in the early stage post burn. *Zhonghua Shao Shang Za Zhi*. 2018;34(10):714–718. PMID: 30369140 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2018.10.012>
3. Kok Y, Chong S, Basuki A. Early definitive treatment of partial-thickness alkali burns with tangential excision and biobrane. *Arch Plast Surg*. 2018;45(2):193–195. PMID: 29506336 <https://doi.org/10.5999/aps.2017.00507>
4. Song G, Jia J, Ma Y, Shi W, Wang F, Li P, et al. Efficacies of treating large area third-degree burns by tangential excision and skin grafting for subcutaneous tissue wounds. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2014;94(44):3492–3496. PMID: 25622740
5. Gurfinkel R, Rosenberg L, Cohen S, Cohen A, Barezovsky A, Cagnano E, et al. Histological Assessment of Tangentially Excised Burn Eschars. *Can J Plast Surg*. 2010;18(3):e33–e36. PMID: 21886431
6. Huang Y, Qiu L, Mei A, Li J. Meta-analysis on the diagnostic value of laser Doppler imaging for burn depth. *Zhonghua Shao Shang Za Zhi*. 2017;33(5):301–308. PMID: 28651422 <https://doi.org/10.1093/jbcr/irz203>
7. Jenda M, Hiddingh J, Stekelenburg C, Kuipers HC, Middelkoop E, Nieuwenhuis MK, et al. Cost-effectiveness of laser Doppler imaging in burn care in the Netherlands. *BMC Surg*. 2013;13:2. PMID: 23369360 <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000001900>
8. Claes KEY, Hoeksema H, Robbens C, Verbelen J, Dhooghe NS, De Decker I, Monstrey S. The LDI Enigma, Part I: So much proof, so little use. *Burns*. 2021;47(8):1783–1792. PMID: 33658147 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2021.01.014>
9. Lang T, Zhao R, Kim A, Wijewardena A, Vandervord J, Xue M, et al. Critical Update of the Assessment and Acute Management of Patients with Severe Burns. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2019;8(12):607–633. PMID: 31827977 <https://doi.org/10.1089/wound.2019.0963>
10. Zuo K, Medina A, Tredget E. Important developments in burn care. *Plast Reconstr Surg*. 2017;139(1):120e–138e. PMID: 28027250 <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000002908>
11. Pape S, Baker R, Wilson D, Hoeksema H, Jeng JC, Spence RJ, et al. Burn wound healing time assessed by laser Doppler imaging (LDI). Part 1: Derivation of a dedicated colour code for image interpretation. *Burns*. 2012;38(2):187–194. PMID: 22115981 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2010.11.009>
12. Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А., Литвин Б.В. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови. Методическое пособие для врачей. Москва, 2012. URL: <http://angiologia.ru/specialist/cathedra/recommendations/2012/001.pdf> [Дата обращения 04 июля 2022 г.]

## REFERENCES

1. *Khirurgicheskoe lechenie postradavshikh ot ozhogov: klinicheskie rekomendatsii*. Moscow, 2015. Available at: <http://xn----9sdbdeix7bduahou3a5d.xn--p1ai/upload/Hirurgicheskoe-lechenie-postradavshih-ot-ozhogov2.pdf> [Accessed Jan 10, 2022] (In Russ.).
2. Li F, Chi Y, Hu Q, Yin K, Liu W, Chen Q, et al. Effects of minimally invasive tangential excision in treating deep partial-thickness burn wounds on trunk and limbs in pediatric patients in the early stage post burn. *Zhonghua Shao Shang Za Zhi*. 2018;34(10):714–718. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2018.10.012>
3. Kok Y, Chong S, Basuki A. Early definitive treatment of partial-thickness alkali burns with tangential excision and biobrane. *Arch Plast Surg*. 2018;45(2):193–195. <https://doi.org/10.5999/aps.2017.00507>
4. Song G, Jia J, Ma Y, Shi W. Efficacies of treating large area third-degree burns by tangential excision and skin grafting for subcutaneous tissue wounds. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2014;94(44):3492–3496.
5. Gurfinkel R, Rosenberg L., Cohen S., Cohen A. Histological Assessment of Tangentially Excised Burn Eschars. *Can. J. Plast. Surg.* 2010;18(3):33–36.
6. Huang Y, Qiu L, Mei A, Li J. Meta-analysis on the diagnostic value of laser Doppler imaging for burn depth. *Zhonghua Shao Shang Za Zhi*. 2017;33(5):301–308. <https://doi.org/10.1093/jbcr/irz203>
7. Jenda M, Hiddingh J, Stekelenburg C. Cost-effectiveness of laser Doppler imaging in burn care in the Netherlands. *BMC Surg*. 2013;13:2–10. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000001900>
8. Karel E, Hoeksema H, Robbens C. The LDI Enigma, Part I: So much proof, so little use. *Burns*. 2021;1:54–59. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2021.01.014>.
9. Lang T, Zhao R, Kim A. Critical Update of the Assessment and Acute Management of Patients with Severe Burns. *Adv. Wound Care (New Rochelle)*. 2019;8(12):607–633. <https://doi.org/10.1089/wound.2019.0963>
10. Zuo K, Medina A, Tredget E. Important developments in burn care. *Plast Reconstr Surg*. 2017;139:120–138. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000002908>
11. Pape S, Baker R, Wilson D. Burn wound healing time assessed by laser Doppler imaging (LDI). Part 1: Derivation of a dedicated colour code for image interpretation. *Burns*. 2012;38(2):187–194. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2010.11.009>
12. Kozlov VI, Azizov GA, Gurova OA, Litvin BV. *Lazernaya doplerovskaya floumetriya v otsenke sostoyaniya i rasstroystv mikrotsirkulyatsii krovi*. Moscow, 2012. Available at: <http://angiologia.ru/specialist/cathedra/recommendations/2012/001.pdf> [Accessed Jan 10, 2022] (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Зиновьев Евгений Владимирович**

доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела термических поражений ГБУ «СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе»;

<https://orcid.org/0000-0002-2493-5498>, [evz@list.ru](mailto:evz@list.ru);

25%: концепция и дизайн исследования, сбор материала, анализ полученных данных, написание текста, выполнение хирургических вмешательств

**Солошенко Виталий Викторович**

доктор медицинских наук, доцент, врач-хирург отдела термических поражений ГБУ «СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе»;

<https://orcid.org/0000-0002-5800-5803>, [burncenter.vs@gmail.com](mailto:burncenter.vs@gmail.com);

23%: анализ полученных данных, написание текста, выполнение хирургических вмешательств

**Костяков Денис Валерьевич**

кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела термических поражений ГБУ «СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе»;

<https://orcid.org/0000-0001-5687-7168>, [kosdv@list.ru](mailto:kosdv@list.ru);

17%: сбор материала, анализ полученных данных, написание текста, выполнение хирургических вмешательств

**Гогохия Тамара Зауровна**

врач-хирург отдела термических поражений ГБУ «СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе»;

[tamargogokhia@mail.ru](mailto:tamargogokhia@mail.ru);

13%: сбор материала, анализ полученных данных, написание текста, выполнение хирургических вмешательств

**Коуров Антон Сергеевич**

врач-хирург отдела термических поражений ГБУ «СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе»;

[anton.kourov@gmail.com](mailto:anton.kourov@gmail.com);

12%: сбор материала, выполнение хирургических вмешательств

**Пятаков Станислав Николаевич**

кандидат медицинских наук, врач-хирург отдела термических поражений ГБУ «СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе»;

<https://orcid.org/0000-0002-3096-0008>, [spyatakov@inbox.ru](mailto:spyatakov@inbox.ru);

10%: сбор материала, выполнение хирургических вмешательств

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов**

# Estimation of Microcirculation Parameters in a Burn Wound for Prediction of Skin Grafting Outcomes After Tangential Necrectomy

E.V. Zinoviev, V.V. Soloshenko , D.V. Kostyakov, T.Z. Gogokhia, A.S. Kourov, S.N. Pyatakov

Department of Thermal Injuries  
Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine  
3, lit. A, Budapeshtskaya str., St. Petersburg, 192242, Russian Federation

✉ **Contacts:** Vitaliy V. Soloshenko, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Surgeon, Department of Thermal Injuries, Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine. Email: burncenter.vs@gmail.com

**BACKGROUND** Irregularity and mosaicism in the depth of the burn skin lesion limits the possibility of performing precision tangential necrectomy in the early stages after injury. Non-radical necrectomy leads to lysis of transplanted autodermal grafts. This problem is most relevant in the treatment of victims with extensive dermal and deep burns.

**AIM OF STUDY** To study the relationship between microcirculation parameters in the burn wound and the outcomes of autodermal transplantation after tangential necrectomy.

**MATERIAL AND METHODS** 74 patients with extensive skin burns included in the study underwent tangential necrectomy with simultaneous autodermal transplantation. All operations were performed early (up to 10 days) after injury before the formation of the demarcation line. Microcirculation parameters in the burn wound were studied by laser Doppler flowmetry before and after tangential necrectomy and in healthy skin of the same anatomical region.

**RESULTS** Statistically significant differences ( $p \leq 0.001$ ) were found between microcirculation parameters in the center of the burn wound after tangential necrectomy and in the control area of intact skin. In this case, the results of autodermal transplantation were characterized by a skin engraftment rate of up to 60–70%. In those areas of the body where there were no differences between microcirculation parameters, the engraftment exceeded 80%.

**CONCLUSION** Assessment of microcirculation by laser Doppler flowmetry can be a reliable method for diagnosing the condition and viability of a burn wound after tangential excision of dead tissues in the early stages of treatment – before the formation of a demarcation line. The diagnostic technique is easy to use, but requires skills in working with a flowmeter, unification of such devices and methods for their use in the practice of surgical treatment of burns.

**Keywords:** burns, tangential necrectomy, autodermal transplantation, laser doppler flowmetry

**For citation** Zinoviev EV, Soloshenko VV, Kostyakov DV, Gogokhia TZ, Kourov AS, Pyatakov SN. Estimation of Microcirculation Parameters in a Burn Wound for Prediction of Skin Grafting Outcomes After Tangential Necrectomy. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2022;11(3):412–418. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-3-412-418> (in Russ.)

**Conflict of interest** Authors declare lack of the conflicts of interests

**Acknowledgments, sponsorship** The study has no sponsorship

## Affiliations

Evgeny V. Zinoviev	Doctor of Medical Sciences, Professor, Head, Department of Thermal Injuries, Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; <a href="https://orcid.org/0000-0002-2493-5498">https://orcid.org/0000-0002-2493-5498</a> , evz@list.ru; 25%, research concept and design, collection of material, analysis of the obtained data, text writing, performing surgical interventions
Vitaliy V. Soloshenko	Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Surgeon, Department of Thermal Injuries, Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; <a href="https://orcid.org/0000-0002-5800-5803">https://orcid.org/0000-0002-5800-5803</a> , burncenter.vs@gmail.com; 23%, analysis of the received data, text writing, performing surgical interventions
Denis V. Kostyakov	Candidate of Medical Sciences, Researcher, Department of Thermal Injuries, Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; <a href="https://orcid.org/0000-0001-5687-7168">https://orcid.org/0000-0001-5687-7168</a> , kosdv@list.ru; 17%, collecting material, analyzing the data obtained, text writing, performing surgical interventions
Tamara Z. Gogokhia	Surgeon, Department of Thermal Injuries, Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; tamargogokhia@mail.ru; 13%, collecting material, analyzing the data obtained, text writing, performing surgical interventions
Anton S. Kourov	Surgeon, Department of Thermal Injuries, Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; anton.kourov@gmail.com; 12%, collecting material, performing surgical interventions
Stanislav N. Pyatakov	Candidate of Medical Sciences, Surgeon, Department of Thermal Injuries, Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; <a href="https://orcid.org/0000-0002-3096-0008">https://orcid.org/0000-0002-3096-0008</a> , spyatakov@inbox.ru; 10%, material collection, surgical interventions

Received on 18.01.2022

Review completed on 20.05.2022

Accepted on 29.06.2022

Поступила в редакцию 18.01.2022

Рецензирование завершено 20.05.2022

Принята к печати 29.06.2022