

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.97>

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕКТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОЖНЫХ ПОКРОВОВ, ТОЛЩИНЫ КОЖНЫХ ПЛАСТОВ И ИХ ГИСТОЛОГИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ С ПОМОЩЬЮ ОКТ

Научная статья

Петрова К.С.¹, Пройдакова Е.В.², Гоева О.Н.^{3,*}, Гурули Г.Г.⁴, Бруева М.А.⁵, Карпенко А.А.⁶

³ORCID : 0009-0000-1759-2442;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Институт клинической медицины, Нижний Новгород, Российская Федерация

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lesyagoeva[at]gmail.com)

Аннотация

В современной комбустиологии по прежнему актуальной задачей является создание методики объективной мультиочаговой оценки степени повреждения тканей в режиме реального времени, которая позволила бы более точно выявить не только истинную структуру травмы, но и определиться с наиболее адекватной тактикой лечения пациента.

При этом возможность объективного контроля процесса терапии позволила бы не только проводить ее своевременную коррекцию, но и прогнозировать исход заболевания и определять возможные пути коррекции оставшихся изменений в тканях.

Оптимальным способом прижизненной визуализации структуры кожи в режиме реального времени является оптическая-когерентная томография (ОКТ), которая по сути представляет собой, аналог «оптической биопсии».

Ключевые слова: прижизненная визуализация структур кожи, оптическая когерентная томография, ОКТ, дерматомия, кожная пластика, толщина кожного трансплантата, определение глубины повреждения кожи.

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF OBJECTIVE DETERMINATION OF THE DEPTH OF SKIN DAMAGE, THE THICKNESS OF SKIN LAYERS AND THEIR HISTOLOGICAL CORRESPONDENCE USING OCT

Research article

Petrova K.S.¹, Proidakova Y.V.², Goeva O.N.^{3,*}, Guruli G.G.⁴, Brueva M.A.⁵, Karpenko A.A.⁶

³ORCID : 0009-0000-1759-2442;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Institute of Clinical Medicine, Nizhny Novgorod, Russian Federation

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russian Federation

* Corresponding author (lesyagoeva[at]gmail.com)

Abstract

In modern combustiology, the development of a method for objective multifocal assessment of the degree of tissue damage in real time is still an urgent task, which would allow more accurately identifying not only the true structure of the injury, but also determining the most adequate tactics for treating the patient.

At the same time, the possibility of objective control of the therapy process would allow not only to carry out its timely correction, but also to predict the outcome of the disease and determine possible ways to correct the remaining changes in the tissues.

The optimal method for intravital visualization of skin structure in real time is optical coherence tomography (OCT), which is essentially an analogue of "optical biopsy".

Keywords: intravital visualization of skin structures, OCT, dermatomy, skin grafting, thickness of skin graft, determination of the depth of skin damage.

Введение

Проблема ожоговой травмы является одной из наиболее актуальных проблем в современной медицине, и часто ассоциируются с высоким риском осложнений, инвалидности и летальным исходом.

Прежде всего, это связано с ее распространенностью в быту, среди мирного населения, а становится особенно актуально в период боевых действий, в связи с чем, перед комбустиологами, хирургами и дерматологами ставится непростая задача о лечении и восстановлении ожоговых больных.

Главным типом оперативного лечения для восстановления целостности кожи у ожоговых пациентов, служит свободная кожная аутодермопластика аутоотрансплантатом, входящая в алгоритм раннего хирургического лечения пострадавших [11].

Сложность субъективной верификации глубины ожога обусловлена частой неоднородностью поражения, динамичностью морфологической картины, окончательное становление которой происходит, как правило, через 7-10 суток после травмы.

Визуальное исследование является обязательным, но не позволяет достоверно оценить глубину поражения и выявить состоятельность барьерной функции кожи. Martin N.A. и Falder S. показали, что оценка степени термического поражения на основании температуры и продолжительности воздействия повреждающего агента в клинической практике не оптимальна, что актуализирует вопрос о развитии объективных инструментальных методик in vivo [13].

Наряду с обязательным визуальным мониторингом состояния ожоговой раны, окружающих тканей и трансплантата, должно проводиться исследование по оценке функциональных параметров пересаженной кожи и собственных тканей.

Основную трудность для развития методов диагностики ожоговой травмы создает невозможность контролируемого лабораторного воспроизведения ее различных вариантов на человеке [2], [3]. Многочисленные работы посвященные подобным экспериментам, проводимым на лабораторных животных, позволяют получить лишь косвенные данные, так как присутствуют существенные различия между структурой, метаболизмом и процессами регенерации в коже животных и человека [1].

Таким образом, вопрос объективной оценки глубины повреждения при ожоговой травме у человека остается открытым [4], [5], [9].

С другой стороны, совершенно необходимым условием для оптимального оперативного лечения является выбор толщины кожного трансплантата и установка шага дерматома. Выбор осложняется различием толщины кожных слоев не только у пациентов различного пола и возраста, но и кожи различной анатомической локализации у одного пациента [6], [7], [10].

Оптическая когерентная томография – единственный высокоразрешающий неинвазивный метод визуализации структуры биотканей, близкий по информативности к эксцизионной биопсии, позволяющий верифицировать наличие важного критерия для дифференциальной диагностики ожогов кожи II и III степени: дериватов кожи [12]. Таким образом, оптимальным способом прижизненной визуализации структуры кожи в режиме онлайн является метод оптической когерентной томографии, который является аналогом «оптической биопсии» [8].

Методы и принципы исследования

Цели:

- оценить возможность объективного определения глубины повреждения кожных покровов, толщины кожных пластов и их гистологического соответствия с помощью ОКТ в режиме *ex vivo*;
- улучшить результаты лечения пациентов с термическими поражениями кожи, путем совершенствования способов диагностики, которые позволят объективно оценить глубину повреждения кожи и выбрать оптимальную толщину кожного лоскута при дерматомии.

Материалы и методы. Патологоанатомическое исследование проводили на базе патологоанатомических отделений ряда клинических учреждений, исследованы образцы кожи ампутированных нижних конечностей (n=5). Проводили ОКТ исследование неповрежденной кожи с последующей ОКТ фиксацией результата последовательного послойного удаления пластов кожи (дерматомии) с помощью дерматома.

В работе использовали визуализатор топограф оптико-когерентный ОКТ-1300 со следующими техническими характеристиками: центральная длина волны – 1300 нм, скорость сканирования – 92 кГц, глубина сканирования – 1,5 мм, продольное разрешение – 20 мкм, поперечное разрешение – 25 мкм, мощность излучения на объекте – 0,75 мВт (ниже допустимого уровня ANSI). Обработку полученных ОКТ-изображений выполняли с помощью специализированных программ HF_OCTf_512Cuda+ViewKub, HF_OCTf_Viewer.

В эксперименте использован фрагмент кожи бедра с подкожной клетчаткой, полученный в результате плановой ампутации. Проводили ОКТ исследование неповрежденной кожи с последующей ОКТ фиксацией результата последовательного послойного удаления пластов кожи (дерматомии) с помощью дерматома с шагом 200 мкм. Из каждого отделенного фрагмента был изготовлен гистологический препарат.

Получено добровольное информированное согласие пациента на гистологическое исследование ампутационного материала.

На исходных ОКТ-изображениях отчетливо визуализировались оптические эквиваленты рогового слоя, клеточных слоев эпидермиса, зоны дермо-эпидермального сочленения и сетчатого слоя дермы (Рис. 1)

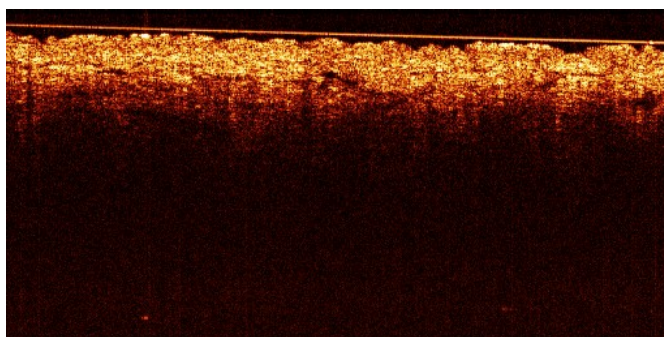


Рисунок 1 - ОКТ-изображение исходного состояния кожи бедра после ампутации. Визуализируется характерная пятислойная структура, типичная для здоровой кожи
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.97.1>

При последовательном удалении слоев на ОКТ-изображении фиксировалось отсутствие оптического эквивалента одного из слоев в сочетании с появлением в поле зрения более глубоко лежащих слоев, обычно недоступных для зондирующего излучения (нижних отделов сетчатого слоя дермы и подкожно-жировой клетчатки).

Основные результаты

В результате гисто-томографических сопоставлений препаратов, изготовленных из фрагментов кожи, удаленных посредством дерматома и соответствующих им ОКТ-изображений была полностью подтверждена правильность оценки глубины повреждения по ОКТ-образам и соответствовали отсутствующим на ОКТ-изображениях оптическим слоям (Рис. 2).

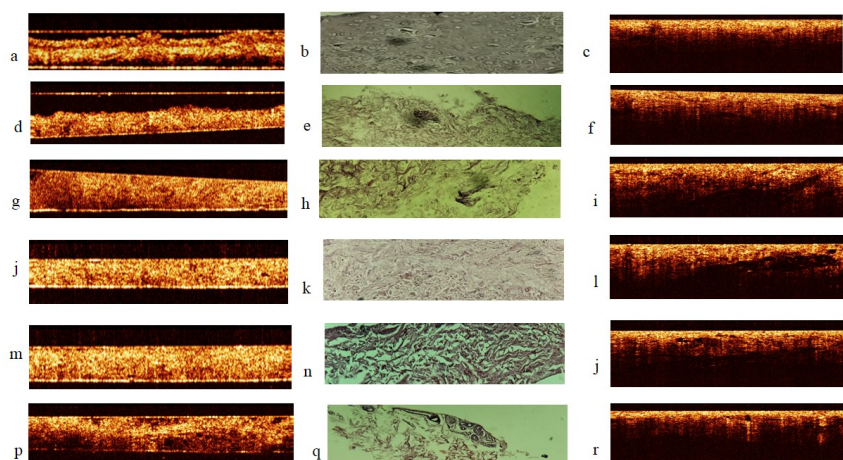


Рисунок 2 - ОКТ-изображения фрагментов кожи, удаленных с помощью дерматома (a, d, g, j, m, p), соответствующих им гистологических препаратов (b, e, h, k, n, q) и участков ампутационного материала на месте последовательного удаления фрагментов дерматомом (c, f, i, l, j, r)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.97.2>

Заключение

Оптическая когерентная томография- может быть использована для прижизненной диагностики практически всех паталогических процессов происходящих в коже: все фазы воспаления, некроз, гиперкератоз, паракератоз, гранулез, акантоз, спонгиоз и т.д. а так же некоторые патологические процессы протекающие в дерме [14].

Оптическая когерентная томография является неинвазивным, безопасным методом диагностики, следовательно, позволяет проводить частые мультифокальные исследования кожи без каких-либо побочных эффектов, так же она достаточно проста в использовании, что позволяет осуществлять частый мониторинг течения заболевания на фоне проводимой терапии *in vivo*. ОКТ-визуализация не вызывает травм и отсроченных нежелательных явлений, поскольку при данном методе диагностики используется излучение в ближайшем инфракрасном диапазоне длин волн мощностью всего 1 МВт, и не доставляет неприятных субъективных ощущений во время исследования [14].

Проведенное исследование демонстрирует возможности ОКТ как метода, способного предоставить объективную информацию об исходном состоянии целой и поврежденной кожи, определяя глубину травматического воздействия, а так же определять толщину кожных пластов, полученных в результате дерматомии.

Практическое применение данной методики обследования позволит существенно улучшить диагностику повреждений и выбрать оптимальный вариант кожной пластики, необходимой конкретному пациенту, что отвечает современным тенденциям развития и практического применения персонализированной терапии.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Рыльков М.И., Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.97.3>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Rylkov M.I., Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.97.3>

Список литературы / References

1. David G. Management of Burns / G. David, M.D. Greenhalgh // The New England Journal of Medicine. — 2019. — No. 380(24). — p. 2349-2359. — DOI: 10.1056/NEJMr1807442.
2. Souto E.B. New Nanotechnologies for the Treatment and Repair of Skin Burns Infections / E.B. Souto, A.F. Ribeiro, M.I. Ferreira [et. al] // International Journal of Molecular Science. — 2020. — No. 21(2). — p. 393. — DOI: 10.3390/ijms21020393.
3. Li S. Imaging in Chronic Wound Diagnostics / S. Li, A.H. Mohamedi, J. Senkowsky, A. Nair // Advances in wound care (New Rochelle). — 2020. — No. 9(5). — p. 245-263. — DOI: 10.1089/wound.2019.0967.

4. Wright E.H. Cooling of burns: Mechanisms and models / E.H. Wright, A.L. Harris, D.Burns Furniss // *Burns*. — 2015. — No. 41(5). — p. 882-889. — DOI: 10.1016/j.burns.2015.01.004.
5. Liu A. Modeling early thermal injury using an ex vivo human skin model of contact burns / A. Liu, E. Ocotl, A. Karim [et. al] // *Burns*. — 2021. — No. 47(3). — p. 611-620. — DOI: 10.1016/j.burns.2020.08.011.
6. Cheng R.Y. Handheld instrument for wound-conformal delivery of skin precursor sheets improves healing in full-thickness burns / R.Y. Cheng, G. Eylert, J.M. Garipey [et. al] // *Biofabrication*. — 2020. — No. 12(2). — p. 025002. — DOI: 10.1088/1758-5090/ab6413.
7. Ryabkov M.G. Effectiveness and safety of transplantation of the stromal vascular fraction of autologous adipose tissue for wound healing in the donor site in patients with third-degree skin burns: a randomized trial / M.G. Ryabkov, M.N. Egorikhina, N.A. Koloshein [et. al] // *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. — 2023. — No. 37(1). — DOI: 10.47176/mjiri.37.70.
8. Петрова Г.А. Оптическая когерентная томография: реальность персонификации в косметологии / Г.А. Петрова, К.С. Петрова, А.А. Горская // *Ремедиум Приволжье*. — 2016. — № 8(148). — с. 27-30.
9. Петрова Г. А. 3D-оптическая когерентная томография: прижизненная оценка морфологических особенностей здоровой кожи и патоморфологическая диагностика дерматозов / Г. А. Петрова, К. С. Петрова, С. В. Немирова [и др.]. — Нижний Новгород: ИП Якушов. — 2018. — 150 с.
10. Островский Н. В. Индивидуальный подбор толщины дерматомных трансплантатов в связи с вариабельностью морфологии кожи донорских участков : автореф. дис. ... канд.мед.наук: 14.00.27 / Островский Николай Владимирович. — 1982. — 15 с.
11. Марченко Д.Н. Совершенствование способов хирургического лечения в комбустиологии с применением вакуум-терапии : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 3.1.9 / Марченко Денис Николаевич. — Краснодар. — 2022. — 178 с.
12. Петрова К.С. Инструментальная неинвазивная диагностика глубины ожога кожи: современные возможности и нерешенные задачи / К.С. Петрова, С.В. Немирова, М.Г. Рябков [и др.] // *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. — 2021. — №14(1). — с. 75-84. — DOI: 10.18499/2070.478X.2021.14.1.75.84.
13. Martin N.A. A review of the evidence for threshold of burn injury / N.A. Martin, S. A. Falder // *Burns*. — 2017. — No. 43(8). — p.1624-1639. — DOI: 10.1016/j.burns.2017.04.003.
14. Gladkova N.D. In vivo optical coherence tomography of human skin: norm and pathology / N.D. Gladkova, G. A. Petrova, N.K. Nikulin [et. al]// *Skin Research and Technology*. — 2000. — No. 6(1). — p. 6-16. — DOI: 10.1034/j.1600.0846.2000.006001006.x.

Список литературы на английском языке / References in English

1. David G. Management of Burns / G. David, M.D. Greenhalgh // *The New England Journal of Medicine*. — 2019. — No. 380(24). — p. 2349-2359. — DOI: 10.1056/NEJMr1807442.
2. Souto E.B. New Nanotechnologies for the Treatment and Repair of Skin Burns Infections / E.B. Souto, A.F. Ribeiro, M.I. Ferreira [et. al] // *International Journal of Molecular Science*. — 2020. — No. 21(2). — p. 393. — DOI: 10.3390/ijms21020393.
3. Li S. Imaging in Chronic Wound Diagnostics / S. Li, A.H. Mohamedi, J. Senkowsky, A. Nair // *Advances in wound care (New Rochelle)*. — 2020. — No. 9(5). — p. 245-263. — DOI: 10.1089/wound.2019.0967.
4. Wright E.H. Cooling of burns: Mechanisms and models / E.H. Wright, A.L. Harris, D.Burns Furniss // *Burns*. — 2015. — No. 41(5). — p. 882-889. — DOI: 10.1016/j.burns.2015.01.004.
5. Liu A. Modeling early thermal injury using an ex vivo human skin model of contact burns / A. Liu, E. Ocotl, A. Karim [et. al] // *Burns*. — 2021. — No. 47(3). — p. 611-620. — DOI: 10.1016/j.burns.2020.08.011.
6. Cheng R.Y. Handheld instrument for wound-conformal delivery of skin precursor sheets improves healing in full-thickness burns / R.Y. Cheng, G. Eylert, J.M. Garipey [et. al] // *Biofabrication*. — 2020. — No. 12(2). — p. 025002. — DOI: 10.1088/1758-5090/ab6413.
7. Ryabkov M.G. Effectiveness and safety of transplantation of the stromal vascular fraction of autologous adipose tissue for wound healing in the donor site in patients with third-degree skin burns: a randomized trial / M.G. Ryabkov, M.N. Egorikhina, N.A. Koloshein [et. al] // *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. — 2023. — No. 37(1). — DOI: 10.47176/mjiri.37.70.
8. Petrova G.A. Opticheskaja kogerentnaja tomografija: real'nost' personifikatsii v kosmetologii [Optical coherence tomography: the reality of personification in cosmetology] / G.A. Petrova, K.S. Petrova, A.A. Gorskaja // *Remedium Privolzh'e [Remedium Volga region]*. — 2016. — No. 8(148). — p. 27-30. [in Russian]
9. Petrova G. A. 3D-opticheskaja kogerentnaja tomografija: prizhiznennaja ocenka morfologicheskikh osobennostej zdravoj kozhi i patomorfologicheskaja diagnostika dermatozov [3D optical coherence tomography: intravital assessment of morphological features of healthy skin and pathomorphological diagnostics of dermatoses] / G. A. Petrova, K. S. Petrova, S. V. Nemirova [et al]. — Nizhny Novgorod: IP Yakushov. — 2018. — 150 p. [in Russian]
10. Ostrovsky N. V. Individual'nyj podbor tolshhiny dermatomnyh transplantatov v svjazi s variabel'nost'ju morfologii kozhi donorskih uchastkov [Individual selection of the thickness of dermatomal transplants in connection with the variability of the skin morphology of donor sites] : author's abstract. diss. ... of PhD in medical sciences: 14.00.27 / Ostrovsky Nikolay Vladimirovich. — 1982. — 15 p. [in Russian]
11. Marchenko D.N. Sovershenstvovanie sposobov hirurgicheskogo lechenija v kombustiologii s primeneniem vakuum-terapi [Improving surgical treatment methods in combustiology using vacuum therapy] : author's abstract. dis. ... of PhD in medical sciences: 3.1.9 / Marchenko Denis Nikolaevich. — Krasnodar. — 2022. — 178 p. [in Russian]
12. Petrova K.S. Instrumental'naja neinvazivnaja diagnostika glubiny ozhoga kozhi: sovremennye vozmozhnosti i nereshennye zadachi [Instrumental non-invasive diagnostics of skin burn depth: current capabilities and unsolved problems] /

K.S. Petrova, S.V. Nemirova, M.G. Ryabkov [et al.] // Vestnik jeksperimental'noj i klinicheskoj hirurgii [Bulletin of Experimental and Clinical Surgery]. — 2021. — No. 14 (1). — p. 75-84. — DOI: 10.18499/2070.478X.2021.14.1.75.84. [in Russian]

13. Martin N.A. A review of the evidence for threshold of burn injury / N.A. Martin, S. A. Falder // Burns. — 2017. — No. 43(8). — p.1624-1639. — DOI: 10.1016/j.burns.2017.04.003.

14. Gladkova N.D. In vivo optical coherence tomography of human skin: norm and pathology / N.D. Gladkova, G. A. Petrova, N.K. Nikulin [et. al]// Skin Research and Technology. — 2000. — No. 6(1). — p. 6-16. — DOI: 10.1034/j.1600.0846.2000.006001006.x.