

Применение медицинского тепловидения в оценке динамики заживления декубитальных язв пациентов с тяжелыми повреждениями головного мозга

А. В. Яковлева¹, А. Е. Шестопалов^{1, 2}, И. М. Долгов³

¹ ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» Министерства науки и высшего образования РФ (ФНКЦ РР), Москва, Россия

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России), Москва, Россия

³ ООО «Дигносис», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Для пациентов с тяжелыми повреждениями головного мозга характерно развитие декубитальных язв (ДЯ). При этом в силу особенностей основного заболевания, тяжести состояния и метаболических изменений, фазы раневого процесса значительно растягиваются во времени. Для лечения таких вялотекущих ран важно знать уровень микроциркуляции в дне и краях раны. Для этого можно использовать медицинское тепловидение.

Цель исследования: изучить возможность использования медицинского тепловидения для прогнозирования течения ДЯ у пациентов после тяжелого повреждения головного мозга.

Методы: одноцентровое проспективное сплошное исследование. Было включено 38 реанимационных пациентов после повреждения головного мозга и ДЯ III–IV стадии (25 мужчин, 13 женщин, средний возраст составил 59±17 лет). До начала лечения и через 21 день регистрировалась серия термограмм (нативный снимок, сразу после проведения «холодовой пробы» и через 3 минуты после пробы) с использованием тепловизора NEC ThermoTracer TH 9100 (NEC San-ei Instr Japan).

Результаты. При анализе термограмм оценивались минимальная и максимальная температура общая, минимум/максимум температур в 1–м–4–м квартилях. При положительном исходе отмечались более высокие температуры 3–го и 4–го квартилей — от 35,1 С до 37,6 С (при отрицательном исходе 34,8 С–36,7 С) и повышение нижних порогов всех квартилей. Мы предположили, что признаком заживления ДЯ является сужение диапазона температурных точек на поверхности раны. Динамика температурных параметров оценивалась по бальной системе. Качество модели проверено с использованием ROC-анализа: площадь под кривой составила 0,932 (0,81–1,0), что свидетельствует о высоком качестве модели. Наилучшее соотношение чувствительности и специфичности 0,81; 0,83 соответствует значению точки отсечения 9,5 баллов. **Заключение.** Применение медицинского тепловидения позволяет объективно оценить уровень кровоснабжения тканей поверхности ДЯ у пациентов после тяжелого повреждения головного мозга, а также прогноз дальнейшего заживления раны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: декубитальная язва, повреждение головного мозга, медицинское тепловидение.

The use of medical thermal imaging in assessing the dynamics of healing of pressure ulcers in patients with severe brain damage

A. V. Yakovleva¹, A. E. Shestopalov^{1, 2}, I. M. Dolgov³

¹ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

³ LLC "Dignosis", Moscow, Russian Federation

SUMMARY

Patients with severe brain damage often develop pressure ulcers (PU). The phases of the wound process significantly extend in time due to the underlying disease, severity of the condition and metabolic changes. Medical thermal imaging can be used to assess the level of PU microcirculation.

Aims: to study the possibility of using medical thermal imaging to predict the course of PU in patients after severe brain damage.

Methods: 38 ICU patients after brain injury and stage III–IV PU (25 men, 13 women, mean age 59±17 years). The series of thermograms (native image, after the "cold test" and 3 minutes after) were recorded before treatment and after 21 days. We used an NEC ThermoTracer TH 9100 thermal imager.

Results. We assessed the minimum/maximum overall temperatures and in the 1st–4th quartiles. With a positive outcome, the temperatures Q3–Q4 were higher (35.1 C–37.6 C versus 34.8 C–36.7 C for a negative outcome) and the lower thresholds of all quartiles. We hypothesized that a sign of PU healing is a narrowing of the range of temperature points on the surface of the wound. We used a point system for assessing the dynamics of temperature parameters, then checked the model using ROC analysis: the AUC was 0.932 (0.81–1.0), which indicates the high quality. The best ratio of sensitivity and specificity (0.81; 0.83) corresponds to a cut-off point of 9.5.

Conclusion. The use of medical thermal imaging makes it possible to objectively assess the level of blood supply to the PU in patients after severe brain damage, as well as the prognosis of further wound healing.

KEYWORDS: pressure ulcer, brain damage, medical thermal imaging.

ВВЕДЕНИЕ

Декубитальные язвы (ДЯ) развиваются как осложнения целого ряда заболеваний и состояний, как посттравматических, так и системных (например, острое нарушение мозгового кровообращения или тяжелая черепно-мозговая травма, сахарный диабет, белково-энергетическая недостаточность, в том числе кахексия, и т. д.). [1, 2] Частота их развития варьирует в широ-

ких пределах (от 3 до 40 % малоподвижных пациентов), однако риск возникновения ДЯ гораздо выше у пациентов, находящихся в отделениях реанимации, особенно при тяжелых повреждениях головного мозга (встречаемость ДЯ в нейрореанимации может достигать 80 %). [2–5].

Когда пациент находится в реанимации, с нарушением сознания, требующий протезирования жизненно важных систем,

маловероятно полностью исключить причины, повышающие риск развитию ДЯ, такие как постоянное высокое давление на покровные ткани, трение, высокая влажность. [6, 7]. При этом свои специфические особенности вносит и основное заболевание — тяжелое повреждение головного мозга. Для таких пациентов на фоне реакции гиперметаболизма-гиперкатаболизма и истощения пластических резервов организма характерно нарушение мышечного тонуса, снижение функции желудочно-кишечного тракта (в том числе за счет нарушения связи «мозг-кишечник»), развитие стойкой белково-энергетической недостаточности, присоединение анемии, пневмонии тяжелой степени, малые перспективы на восстановление движений в ближайшее время. [8–10] Как результат, все фазы раневого процесса резко замедляются, растягиваясь на многие месяцы; при этом в разных участках раны макроскопически можно одновременно наблюдать как формирование некроза, так и разрастание грануляционной ткани. [11, 12].

В лечении таких пациентов для врача важно знать, насколько развита микроциркуляция в дне и краях раны.

Адекватно оценить локальную микроциркуляцию позволяет медицинское тепловидение — прямой бесконтактный цифровой метод исследования теплового излучения раневой поверхности. [13].

Цель исследования: изучить возможность использования медицинского тепловидения для прогнозирования течения ДЯ у пациентов после тяжелого повреждения головного мозга.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Данное исследование одноцентровое проспективное сплошное.

Критерии соответствия

В исследование включались пациенты реанимационных отделений, проходящие раннюю нейрореабилитацию после тяжелых повреждений головного мозга и имеющие декубитальные язвы (ДЯ) области крестца и/или больших вертелов III–IV стадии на момент начала исследования. Дополнительным критерием включения было наличие белково-энергетической недостаточности легкой — тяжелой степени. При этом критериями исключения являлось наличие противопоказаний к проведению нутритивной поддержки и наличие сахарного диабета.

Условия проведения и продолжительность исследования

Исследование проводилось в отделениях анестезиологии и реанимации Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии в период с июня 2022 по сентябрь 2023 года.

Описание медицинского вмешательства

В первый день включения в исследование пациенту с установленным фактом наличия ДЯ III–IV стадии, а также белково-энергетической недостаточности проводилась термография ДЯ. При наличии нескольких ДЯ для оценки выбиралась с наибольшим размером и глубиной поражения. Далее пациент получал лечение по поводу основного заболевания, нутритивную поддержку, а также терапию ДЯ, которая включала в себя ежедневные перевязки с наложением мажевых повязок (Левомеколь), дебридинг и программируемые некрэктомии. Через 21 день (в зависимости от времени нахождения пациента в стационаре) проводилось повторное исследование.

Для регистрации термограмм использовался тепловизор NEC ThermoTracer TH 9100 (NEC San-ei Instr Japan). После снятия повязок с раны и экспозиции в течение 5 минут проводилась регистрация исходной (нативной) термограммы, после чего выполнялась

«холодовая проба»: на исследуемую область (ДЯ) накладывалась влажная (комнатной температуры) повязка на 2 минуты, после снятия повязки поверхность высушивали (промокание сухой салфеткой), и регистрировали термограммы сразу, через 1 и 3 мин после пробы. (рисунок 1).

Дальнейшая цифровая обработка термограмм производилась с использованием облачного Медицинского комплекса программной обработки и анализа термограмм «TVision» (ООО «Дигносис») (рисунок 2).

Этическая экспертиза

Протокол данного исследования в составе общего протокола диссертационного исследования одобрен локальным этическим комитетом ФНКЦ РР № 1/21/7 от 17.03.2021 г.

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался. Статистическая обработка проводилась с использованием программ Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследование было включено 38 пациентов после повреждения головного мозга, 25 мужчин, 13 женщин, средний возраст составил 59 ± 17 лет. По нозологии пациенты распределились следующим образом: Ишемический инсульт — 13 человека, черепно-мозговая травма — 14 человек, геморрагический инсульт — 4 человека, состояние после удаления опухоли головного мозга — 1 человек, постгипоксические состояния — 6 человек.

Основные результаты исследования

По динамике клинической картины пациенты разделились на две группы: первая с однозначно положительным исходом (в виде очищения раны от некрозов, образование сочных грануляций, уменьшение размеров раны, наличие краевой эпителизации) и вторая с отсутствием динамики либо клиническим ухудшением (образование новых некрозов, тусклые грануляции, увеличение размеров раны, появление карманов). При анализе термограмм (ДЯ, ДЯ сразу после «холодовой пробы», через 3 минуты после пробы) оценивались следующие параметры: минимальная температура

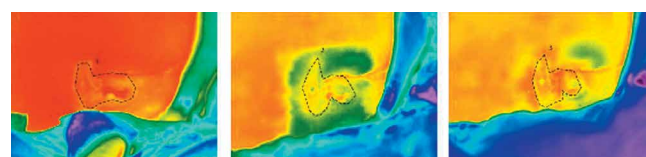


Рисунок 1. Термограммы декубитальной язвы крестца: нативное фото, сразу после «холодовой пробы» и через 3 минуты после пробы. Пунктиром обозначены области, соответствующие краю ДЯ. Внутри этих областей проводится температурный анализ

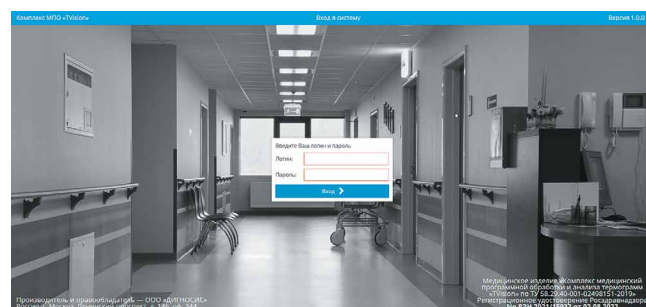


Рисунок 2. Окно входа в облачный программный комплекс «TVision»

общая, максимальная температура общая, минимум/максимум температур в 1-м–4-м квартилях (рисунок 3).

На термограммах вне холодовой пробы температуры поверхности раны были сопоставимы (от 32,3–32,5 С до 36,8–37,0 С), однако для первой группы отмечался более высокие температуры 3-го и 4-го квартилей — от 35,1 С до 37,6 С (тогда как во второй группе соответствующие границы составили от 34,8 С до 36,7 С). При этом в динамике для положительного течения пролежнего процесса отмечалось прогрессивное повышение нижних температурных порогов всех квартилей. Во второй группе, напротив, температурные границы либо не менялись, либо даже снижались на 0,5–0,7 С.

Доказываемой гипотезой было то, что признаком положительного течения раневого процесса является сужение диапазона температурных точек на поверхности ДЯ. Сравнивалась разница максимум-минимум общего пула температурных точек и по квартилям в трех термограммах (до, сразу после «холодовой пробы» и через 3 минуты после пробы) до проводимого лечения и через 21 день. При этом, если разница после лечения была ниже, чем до него, параметру присваивался 1 балл (максимум 15 баллов). (таблица 1).

Всего двухкратное тепловизионное исследование проведено у 17 пациентов, в т. ч. 11 пациентов с позитивной клинической динамикой и 6 пациентов с отсутствием изменений в ДЯ. В группе пациентов с положительной динамикой значения суммы баллов колебалось от 9 до 15 (среднее значение — 12,1), без динамики — от 4 до 10 (среднее значение — 7,8).

В регрессионном анализе установлены значения константы В (13,57) и В (–1,45). Рассчитана вероятность положительного клинического течения ДЯ в зависимости от суммы присвоенных баллов. (таблица 2).

Качество модели проверено с использованием ROC-анализа: площадь под кривой составила 0,932 (0,81–1,0), что свидетельствует о высоком качестве модели (рисунок 4).

Наилучшее соотношение чувствительности и специфичности (0,81; 0,83) соответствует значению точки отсечения 9,5.

Обсуждение

Возможность обоснованного прогнозирования течения представляет особый интерес в лечении «вялотекущих» ран.

Известно, что, чем лучше васкуляризирован участок раны, тем большую температуру он будет «давать» на термограмме, при этом «холодовая проба» позволяет оценить скорость восстановления микроциркуляции в разных участках раны.

Из этих положений следуют важные выводы:

— при успешной тканевой регенерации поверхность ДЯ становится более равномерно заполнена микроциркуляторной сетью, и, как следствие, термокартина становится более однородной

(уменьшается разница между минимальной и максимальной температурами) и повышается максимум температур;

— если в ДЯ имеются разнородные ткани (с выраженной васкуляризацией и с обедненной сосудистой сетью), то на термограмме, в особенности при проведении функциональных проб, отмечается большой разброс температур.

Эти выводы положены в основу тепловизионного метода прогнозирования течения ДЯ.

Для выявления тенденции изменения температуры, при уменьшении разности температур в ране за 21 день, показателю присваивали значение «1», в других случаях — значение «0». Поскольку исследование проводилось до, сразу после, а также через 3 мин после «холодовой пробы», и определялись, помимо общего, изменения по квартилям температуры, для каждого пациента имелось 15 измерений, соответственно, максимальная сумма оценки могла составить 15 баллов.

Полученные показатели сравнили с клинической картиной течения ДЯ. Оказалось, что у пациентов с позитивной клинической динамикой, сумма баллов варьировалась от 9 до 15 (среднее — 12,1), с негативным клиническим течением — от 4 до 10 (среднее — 7,5).

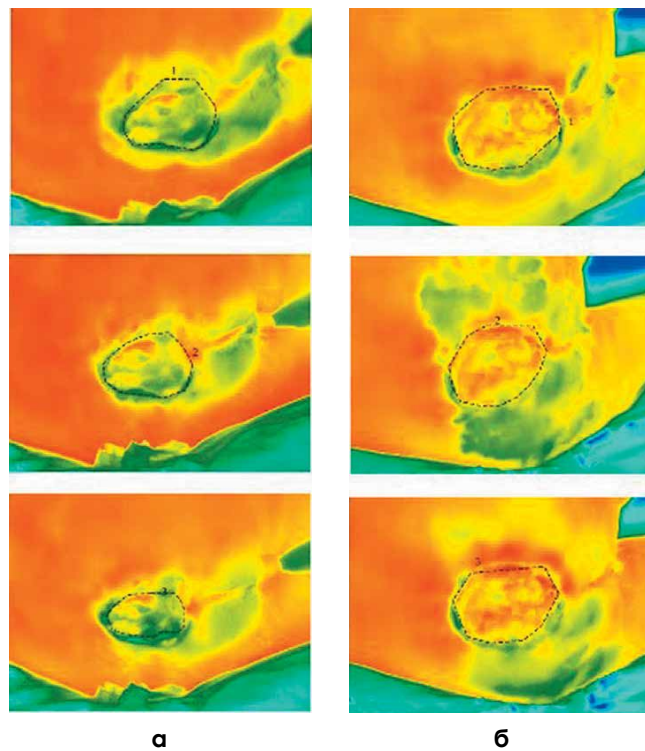


Рисунок 3. Серии термограмм декубитальной язвы крестца до начала лечения (а) и через 21 день (б)

Таблица 1
Пример назначения баллов на основании разницы температуры до и после лечения

Код	пол	дата	кв3%			кв4%		
			мин	макс		мин	макс	
3	м	27.05.2022	37,00	37,50	0,50	37,50	38,00	0,50
3	м	16.06.2022	36,20	36,50	0,30	36,50	37,60	1,10
Баллы					1			0

Таблица 2
Вероятность положительного клинического течения ДЯ в зависимости от суммы присвоенных баллов

Сумма баллов	Вероятность положительного клинического течения
8	10%
9	37%
10	72%
11	91%

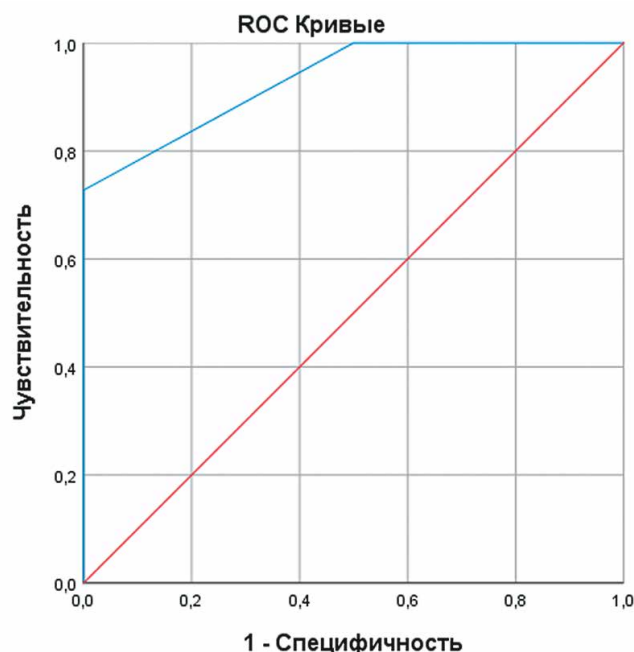


Рисунок 4. ROC-кривая оценки качества модели

Исходя из полученных данных, составлено уравнение логистической регрессии и рассчитана вероятность наступления исхода от значения показателя «сумма баллов». Установлено, что полученные значения соответствуют динамике клинической картины.

Высокое качество модели подтверждено ROC-анализом (площадь под кривой составила 0,932 (0,81–1,0)).

Таким образом показано, что разработанную балльную оценку динамики температур при тепловизионном исследовании с «холодовой пробой» можно использовать для прогнозирования течения ДЯ.

Очевидно, что, в связи с малым количеством исследованных пациентов, выявленные нами тенденции требуют дальнейшего изучения на большем клиническом материале.

Заключение

Применение медицинского тепловидения, в частности использование «холодовой пробы» позволяет объективно оценить

уровень кровоснабжения тканей раневой поверхности ДЯ у пациентов после тяжелого повреждения головного мозга.

Тепловизионный метод является эффективным объективным прогностическим критерием дальнейшего заживления ДЯ.

Список литературы / References:

- Bhattacharya S, Mishra RK. Pressure ulcers: Current understanding and newer modalities of treatment. *Indian J Plast Surg.* 2015;48(1): 4–16. doi:10.4103/0970-0358.155260
- Hasegawa M, Inoue Y, Kaneko S, Kanoh H, Shintani Y, Tsujita J, et al. Wound, pressure ulcer and burn guidelines — 1: Guidelines for wounds in general, second edition. *J Dermatol* 2020;47(8):807–833.
- Ayello E., Sibbald R. From Decubitus and Pressure Ulcers to Pressure Injuries. *Adv. Skin Wound Care.* 2019; 32(3): 101. DOI: 10.1097/01.ASW.0000553114.57290.be. PMID: 30801347.
- Boyko T., Longaker M., Yang G. Review of the Current Management of Pressure Ulcers. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2018; 7(2): 57–67. DOI: 10.1089/wound.2016.0697. PMID: 29392094.
- Крылов К.Ю., Гречко А.В., Петрова М.В., и др. Нутритивно-метаболическая терапия у пациентов в хроническом критическом состоянии после церебральной катастрофы: пособие для врачей. Москва: Грин Принт, 2018.
- Krylov K. Yu., Grechko A. V., Petrova M. V., et al. Nutritional and metabolic therapy in patients in chronic critical condition after cerebral catastrophe: a handbook for doctors. Moscow: Green Print, 2018.
- Blackburn J., Ousey K., Taylor L., Moore B., Patton D., Moore Z., Avsar P. The relationship between common risk factors and the pathology of pressure ulcer development: a systematic review. *J Wound Care.* 2020; 29(3): 4–12. DOI:10.12968/jowc.2020.29.Sup3.S4. PMID: 32160123.
- Jaul E, Factor H, Karmi S, Schiffmiller T, Meiron O. Spasticity and dementia increase the risk of pressure ulcers. *Int Wound J* 2019;16(3):847–851.
- Петрова М.В., Сергеев И.В., Шестопалов А.Е., Лукьянец О.Б. Метаболические нарушения у пациентов, находящихся в хроническом критическом состоянии, обусловленном последствиями черепно-мозговой травмы. *Вопросы питания.* 2021; 90(4):103–111. doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-103-111
- Petrova M.V., Sergeev I. V., Shestopalov A. E., Lukyanets O. B. Metabolic disorders in patients in chronic critical condition due to the consequences of traumatic brain injury. *Nutrition issues.* 2021; 90(4):103–111. doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-103-111
- Karahan A., Abbasoglu A., Isik S., Cevik B., Saltan C., Elbas N., Yalili A. Factors Affecting Wound Healing in Individuals With Pressure Ulcers: A Retrospective Study. *Ostomy Wound Manage.* 2018; 64(2): 32–39. PMID:29481325.
- Mervis J., Phillips T. Pressure ulcers: Pathophysiology, epidemiology, risk factors, and presentation. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2019; 81(4): 881–890. DOI: 10.1016/j.jaad.2018.12.069. Epub 2019 Jan 18. PMID: 30664905.
- Wang Y, Dai Y., Piao J., Liu C., Li M., Jiang L. The expressions and functions of inflammatory cytokines, growth factors and apoptosis factors in the late stage of pressure ulcer chronic wounds. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi* 2017;33(2):181–184.
- Супильников А.А., Девяткин А.А., Павлова О.Н., Гуленко О.Н. Морфологические и физиологические аспекты течения раневого процесса [литературный обзор]. *Медицинский вестник.* 2016; 23: 26–30.
- Supilnikov A.A., Devyatkin A. A., Pavlova O. N., Gulenko O. N. Morphological and physiological aspects of the course of the wound process (literary review). *Medical Bulletin.* 2016; 23: 26–30.
- Nakagami G, Sanada H, Iizaka S, Kadono T, Higashino T, Koyanagi H, Haga N. Predicting delayed pressure ulcer healing using thermography: a prospective cohort study. *J Wound Care.* 2010 Nov;19(11):465–6, 468, 470 passim. doi: 10.12968/jowc.2010.19.11.79695. PMID: 21135794.

Сведения об авторах:

Яковлева Александра Витальевна, научный сотрудник лаборатории инновационно-реабилитационных технологий. ORCID: 0000-0001-9903-7257; eLibrary SPIN: 3133-3281

Шестопалов Александр Ефимович, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории инновационно-реабилитационных технологий. ORCID: 0000-0002-5278-7058; eLibrary SPIN: 7531-6925.

Долгов Игорь Маратович, д.м.н., ORCID: 0000-0002-5511-5679

¹ ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии» Министерства науки и высшего образования РФ (ФНКЦ РР), Москва, Россия

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России), Москва, Россия

³ ООО «Дигносис», Москва, Россия

Автор для переписки: Яковлева А. В., e-mail: avyakovleva@fnkcr.ru

About authors:

Alexandra V. Yakovleva, ORCID: 0000-0001-9903-7257; eLibrary SPIN: 3133-3281

Alexandr E. Shestopalov, PhD, prof.; e-mail: ashest@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-5278-7058; eLibrary SPIN: 7531-6925

Igor M. Dolgov MD, PhD, ORCID: 0000-0002-5511-5679

¹ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

³ LLC "Dignosis", Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Alexandra V. Yakovleva, e-mail: avyakovleva@fnkcr.ru

Статья поступила / Received 20.02.2024

Получена после рецензирования / Revised 15.03.2024

Принята в печать / Accepted 15.03.2024

Для цитирования: Яковлева А.В., Шестопалов А.Е., Долгов И.М. Применение медицинского тепловидения в оценке динамики заживления декубитальных язв пациентов с тяжелыми повреждениями головного мозга. *Медицинский алфавит.* 2024;6(6):64–67. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-6-58-62>

For citation: Yakovleva A. V., Shestopalov A. E., Dolgov I. M. The use of medical thermal imaging in assessing the dynamics of healing of pressure ulcers in patients with severe brain damage. *Medical alphabet.* 2024;6(6):64–67. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-6-58-62>

