

УДК 616-001.18/19-073.65

А.Л. ВАЛЕНТЮКЕВИЧ¹, В.Д. МЕЛАМЕД¹, С.А. ЧИЖИК², А.И. ОСЛАВСКИЙ¹
**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КАК МЕТОД ДИАГНОСТИКИ
ТЯЖЕСТИ ХОЛОДОВОЙ ТРАВМЫ**

¹Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь;

²Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

Исследована возможность использования динамического тепловидения при экспериментальных отморожениях. Установлено, что температурная визуализация эффективна в качестве неинвазивного метода верификации степени тяжести повреждения на начальных этапах и позволяет прогнозировать жизнеспособность тканей, подвергшихся холодовому воздействию, что может служить критерием выбора дальнейшей тактики лечения. Полученные термографические результаты, характерные для поверхностных и глубоких отморожений, коррелируют с проведенными морфо-гистологическими исследованиями.

Ключевые слова: крысы, холодовая травма, диагностика, тепловизор, морфо-гистологические исследования.

Введение. Лечение и профилактика холодовой травмы остается одной из сложных медицинских и социальных проблем. Клиническое течение криотравмы сложно прогнозировать из-за многообразия патофизиологических процессов в тканях [3, 8]. Отсутствие признанной диагностики и тактики лечения пациентов как с поверхностными, так и глубокими отморожениями обуславливает развитие осложнений и констатацию большого процента инвалидизации [1]. К сожалению, выбор лечебной тактики зачастую основывается лишь на опыте хирурга при оценке степени холодовой травмы, несмотря на существующие методы диагностики [4].

Одним из наиболее важных и информативных параметров организма при различных патологических состояниях является локальная температура тела [7]. Действие низких температур приводит к развитию патологических процессов в органах и тканях, вызывая нарушение теплового баланса и значительные изменения этого показателя, значения которого могут в значительной мере определять лечебную тактику [5].

Разновидностью тепловидения, при которой исследуются временные изменения температурных полей, называют динамическим тепловидением [2]. Применение тепловизора в комбустиологии позволяет определить динамику температуры тканей, подвергнутых холодовому воздействию, а также перифокальных зон [6,9,11]. Динамическая регистрация температурных изменений дает возможность прогнозировать степень криоповреждения и возможную обратимость процессов поврежденных тканей, однако экспериментальных исследований, посвященных обоснованию данного метода при холодовой травме, нами не найдено.

Разработка новых способов диагностики включает доклинические экспериментальные исследования, предусматривающие создание экспериментальной модели холодовой травмы с возможностью температурной визуализации, которая может быть критерием ранней оценки жизнеспособности тканей, подвергшихся криовоздействию, для последующей адекватной тактики лечения.

Цель исследования заключалась в оценке результатов применения температурной визуализации тканей при холодовой травме для диагностики степени повреждения и обосновании ее достоверности морфо-гистологическими исследованиями в эксперименте.

Материалы и методы. Исследование по моделированию контактных отморожений и их температурной визуализации было проведено на 30 белых лабораторных крысах в возрасте 5-6 месяцев массой тела 210,2 ±20,3 грамм. Подопытные животные находились на стандартном рационе питания. Эксперимент проводился в условиях операционной вивария УО «Гродненский государственный медицинский университет» при комнатной температуре 22°C. Работа с животными выполнена с соблюдением «Правил и норм гуманного обращения с биологическими объектами исследований» УО «Гродненский государственный медицинский университет» (протокол №1 от 30.01.2018), а также в соответствии с «Европейской Конвенцией о защите позвоночных животных,

используемых для экспериментов или в иных научных целях» (Страсбург, 1986). Все этапы эксперимента проводились по собственной разработанной схеме с использованием эфирного наркоза по закрытому контуру. Наркотизированным лабораторным животным непосредственно перед проведением эксперимента осуществляли удаление шерсти в межлопаточной области путем выщипывания с последующим выбриванием.

Моделирование холодовой травмы производилось посредством «Устройства для моделирования отморожений различной степени тяжести» [10], позволяющим воспроизводить стандартизированные по площади и глубине контактные криповреждения.

Лабораторные животные были разделены на 2 группы по 15 крыс. В первой группе моделировали поверхностные отморожения (5-секундный контакт устройства с кожей крысы). Во 2-й группе для воспроизведения глубокого контактного холодового повреждения необходимо было 30-секундное воздействие.

При моделировании холодовой травмы для динамической фиксации температуры и ее визуального отображения использовали профессиональный тепловизор Seek Thermal Shot Pro (модель KIT FB0110, США) - аппарат для измерения тепловой картины заданных областей с возможностью их отображения. Модель оснащена профессиональной тепловизионной камерой и позволяет получить фото- и видеoinформацию в тепловом диапазоне с возможностью вывода на компьютер. Прибор обладает следующими характеристиками: температурный диапазон от -40° до 330° C, угол обзора составляет 57° , разрешение: 320×240 . Съемка в тепловом диапазоне производилась со стационарного штатива на расстоянии 0,3 метра до животного.

Для верификации достоверности полученных тепловизионных показателей последние сопоставляли с морфо-гистологическими данными, определяя характер и глубину холодового повреждения посредством забора материала путем иссечения скальпелем участков, подвергнутых холодовому воздействию, и прилежащих интактных тканей в межлопаточной области. Готовили гистологические препараты с их последующим изучением и микрофотографированием с помощью исследовательского микроскопа и цифровой фотокамеры (Canon EOS 700D). Визуально оценивалось состояние раны и покрывающего её новообразованного эпителия, состояние подлежащей соединительной ткани и выраженность воспалительных изменений.

Результаты и их обсуждение. Для моделирования поверхностного отморожения производилось прикладывание холодового контейнера, заполненного жидким азотом, к депилированному участку кожи крысы в межлопаточной области продолжительностью 5 секунд. При этом интактная температура указанной зоны составляла $36 \pm 0,5^{\circ}$ C.

На термограммах зона отморожения была представлена синим цветом. Вокруг тканей, подвергшихся контактному воздействию, визуализировалась перифокальная зона толщиной до 2 мм, в виде ярко-красного ободка, а интактные кожные покровы имели жёлтый окрас (рис. 1).

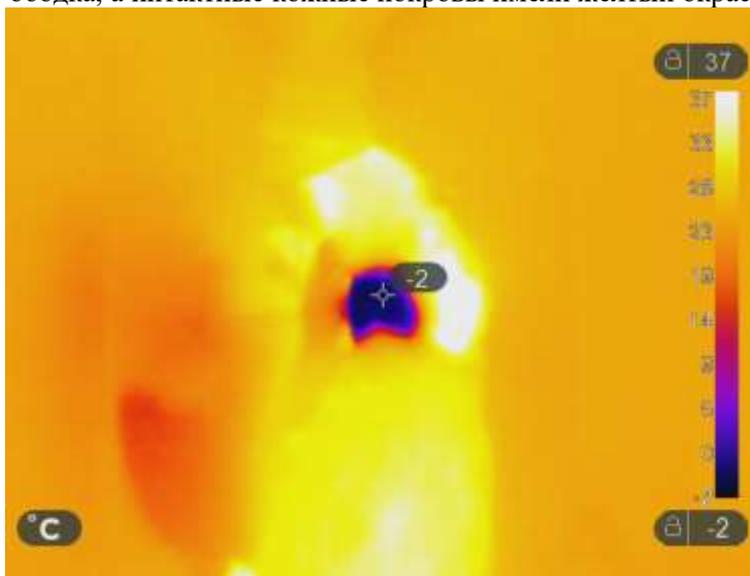


Рис. 1. Температурная визуализация кожных покровов крысы после 5-секундного холодового воздействия

Непосредственно при моделировании поверхностного отморожения происходило резкое снижение температуры в зоне контакта со скоростью $7,6 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в секунду, а в перифокальных тканях - $5,2 \pm 0,4^\circ\text{C}$ в секунду. Температурные показатели при этом распределялись равномерно в области криповреждения и регистрировались не ниже $-2 \pm 0,4^\circ\text{C}$. При этом температурный режим в пограничной области был минимальным, и к 5-ой секунде моделирования снизился до $10 \pm 0,6^\circ\text{C}$. После удаления устройства с поверхности кожи температурные показатели в пораженной области и пограничных тканях вернулись к исходному значению в $36 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 60 секунд (рис. 2).

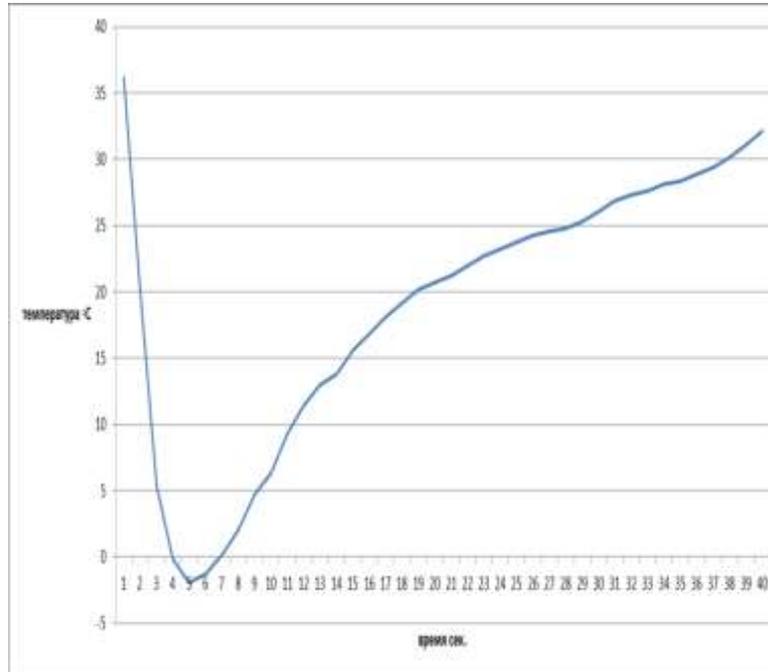


Рис. 2. График изменения температуры кожи крысы в зоне контакта при моделировании поверхностного отморожения

Макроскопически после 5-секундной холодовой экспозиции отмечались признаки поверхностного отморожения: кожа приобрела умеренно выраженный белый цвет, который через один час постепенно сменился незначительной гиперемией, ограниченной зоной воздействия (синий цвет на термограмме). При гистологическом исследовании роговой слой эпидермиса был разрыхлен, местами частично отслоен от эпителия. В подкожной клетчатке на границе с дермой определялось умеренно выраженное венозное полнокровие. Признаки некротических и воспалительных изменений в эпидермисе, дерме, подкожной клетчатке и мышечной ткани отсутствовали.

На 3-и сутки в месте нанесения поверхностного отморожения визуализировалась незначительная гиперемия и пастозность тканей. При микроскопическом исследовании роговой слой эпидермиса в исследуемой зоне подвергся десквамации. Местами он сохранился в виде истонченной, частично отслоенной от эпидермиса, полоски. В дерме и подкожной клетчатке определялось умеренно выраженное венозное полнокровие и слабо выраженный диффузный отек.

На протяжении 5-ти суток после моделирования в зоне холодового воздействия наблюдалась слабо выраженная воспалительная реакция и шелушение эпидермиса. К 7-м суткам кожные покровы стали эластичными, обычного цвета, макроскопически и гистологически не отличаясь от интактных тканей. При интерпретации термограмм температура кожных покровов сохраняла исходное значение, что подтверждало воспроизведение поверхностного отморожения.

Таким образом, пятисекундное холодовое воздействие не привело к значительному повреждению тканей, вызвав локальную сосудистую реакцию, которая была зарегистрирована при температурной визуализации. Быстрое восстановление температурного режима пораженных тканей не позволило развиваться необратимым изменениям в зоне контактного отморожения, что сопоставимо с морфо-гистологическими результатами.

При моделировании глубоких отморожений на термограммах область криповреждения была представлена черным цветом, окруженным синей ареолой по периферии. Вокруг тканей, соприкасавшихся с устройством, визуализировался фиолетовый и ярко-красный ободок перифокальной зоны толщиной 2 мм (рис. 3).

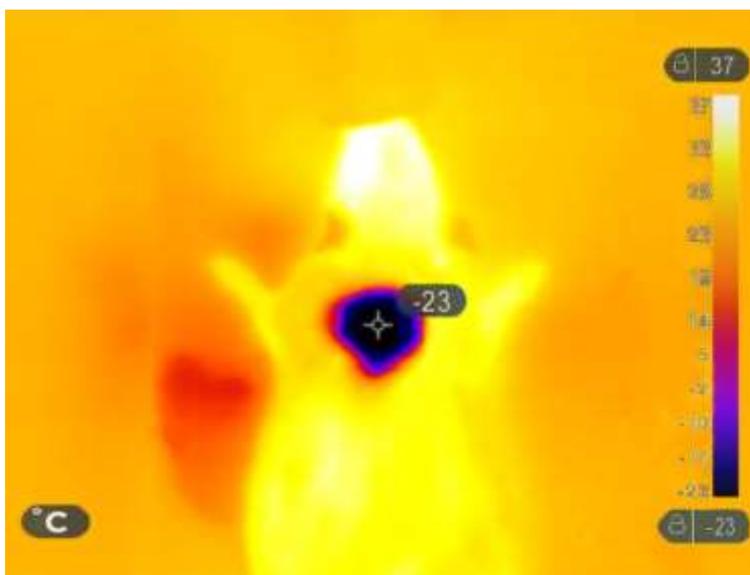


Рис. 3. Температурная визуализация зоны отморожения непосредственно после 30-секундного холодого воздействия

Кожная температура в зоне холодого воздействия снизилась до $-23 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. В последующем тепловой режим исследуемой области постепенно повышался, однако возврат к исходной температуре был зафиксирован более, чем через 2 часа (рис. 4).

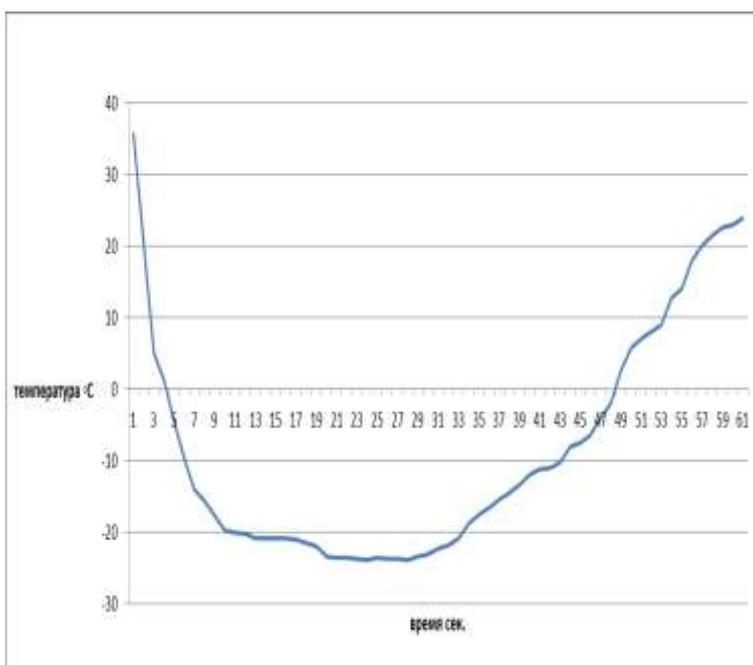


Рис. 4. График изменения температурного показателя кожи крысы в зоне контакта при моделировании глубокого отморожения

Температура пограничных контактного воздействию тканей (ярко-красная перифокальная зона на представленной ниже термограмме) снизилась до $-5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и восстановилась до исходного значения ($36 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$) в течение 60 секунд (рис. 5). Эти показатели сопоставимы с ранее описанными при моделировании поверхностных отморожений и свидетельствуют о возможности обратимости происходящих изменений в тканях.

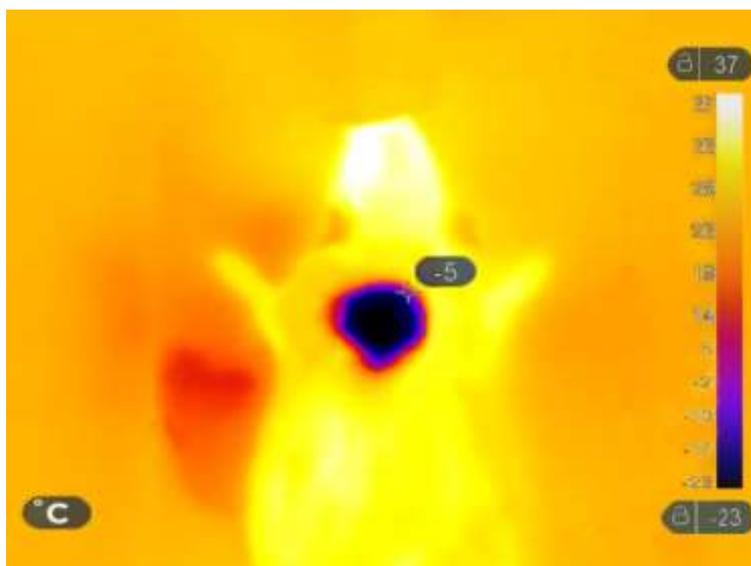


Рис. 5. Температура перифокальной зоны по окончании холодового воздействия

При завершении моделирования глубокого отморожения макроскопически зона криповреждения представляла собой четко отграниченную гомогенную белую поверхность с диффузно расположенными петехиями различного размера и ярко-белым окрасом перифокальной области.

Через 30 минут в зоне контактного воздействия белое пятно сменилось гиперемией. Через 1 час зона отморожения стала синюшного цвета, кожа практически на всем протяжении плотная, в складку не собиралась. Гистологически роговой слой эпидермиса сильно разрыхлен, повсеместно отслоен от эпителия за счет отека, ядра клеток базального и зернистого слоев местами с признаками кариопикноза. Дерма, подкожная клетчатка и подлежащая мышечная ткань с признаками отека и, преимущественно в подкожной клетчатке, определялась слабо выраженная очаговая нейтрофильно-клеточная инфильтрация. Признаки некроза в эпителии, дерме, подкожной клетчатке и мышечной ткани не определялись.

На 3-и сутки в зоне отморожения кожные покровы были резко утолщены, не смещаемы, в складку не собирались, бурого цвета с четкими границами. Микроскопически эпидермис и дерма разрушены, дно дефекта представлено подкожно-жировой клетчаткой и мышечной тканью. Перифокальная зона бледнее интактной кожи на расстоянии 2 мм от места криповреждения, гистологически эпидермис истончен, с выраженными дистрофическими изменениями.

На 7-е сутки после холодового воздействия в области отморожения определялся темно-бурый плотный сухой струп, который по периферии отслаивался. В перифокальной зоне визуальных изменений не наблюдалось, однако микроскопически ещё обнаруживалась незначительная инфильтрация, представленная нейтрофилами, макрофагами и плазмощитами. При этом в области холодового воздействия гистологически выявлялся глубокий очаг некроза с вовлечением в процесс кожи, подкожной клетчатки и мышечной ткани и наличием неравномерно выраженной лейкоцитарной инфильтрации. Дерма и гиподерма были представлены тканевым детритом, в котором невозможна дифференцировка на слои. Мышечная ткань со стертыми границами и некрозом миоцитов. Венозные сосуды расширены, их стенки в состоянии мукоидного и фибриноидного набухания. Имелись очаги формирования грануляционной ткани с множественными фибробластами, фиброцитами и вновь образованными сосудами. В краях эпидермального пласта и дистальнее зоны некроза отмечалась очаговая гиперплазия эпидермиса, который в этих зонах имел признаки дистрофии и вакуолизации цитоплазмы.

Таким образом, аргументирована имеющая место корреляция между полученными результатами температурной визуализации тканей и морфо-гистологическими данными, что характерно для глубокого отморожения в реактивном периоде.

Заключение. Температурная визуализация может быть использована в качестве доступного и неинвазивного метода оценки степени тяжести отморожений на начальных этапах, что позволяет прогнозировать жизнеспособность тканей, подвергшихся холодовому воздействию.

Литература:

- [1]. *Fabian C.J.* Retrospective cohort study examining treatments and operative interventions for frostbite in a tertiary care hospital// Original Research. 2017. Vol. 19, iss. 2. P. 88–95.
- [2]. *Fricova J., Janatova M., Anders M., Albrecht J., Rokyta R.* Thermovision: a new diagnostic method of orofacial pain? // Journal of Pain Research. 2018. Vol. 11. P. 3195–3203.
- [3]. *Goertz O., Baerreiter S., Ring A., Jettkant B., Hirsch T.* Determination of microcirculatory changes and angiogenesis in a model of frostbite injury in vivo// The Journal of surgical research. 2011. Vol. 168. P. 155–161.
- [4]. *Hu J., Hua L., Xiliang G., Lin J., Hongping S., Lin L., Mingke J.* Pathophysiologic Determination of frostbite under high altitude environment simulation in sprague-dawley rats// Wilderness and environmental medicine. 2016. Vol. 27. P. 355–363.
- [5]. *Radecka A., Pluta W., Lubkowska A.* Assessment of the dynamics of temperature changes in the knee joint area in response to selected cooling agents in thermographic tests// International journal of environmental research and public health. 2021. Vol. 18. P. 5326.
- [6]. *Sessler D.* Perioperative thermoregulation and heat balance// Lancet. 2016. Vol. 387. P. 2655–2664.
- [7]. *Takeda F., Moro A., Martins N.* Thermographic images to measure health risks of workers exposed to artificially refrigerated environments// Brazilian journal of poultry science. 2018. Vol. 2. P. 245–254.
- [8]. *Винник Ю.С., Салмина А.Б., Юрьева М.Ю., Теплякова О.В.* Локальная холодовая травма: вопросы патогенеза, оценки тяжести и лечения// Московский хирургический журнал. 2011. №1. С. 42–48.
- [9]. *Лантева В.И., Резников К.М., Борисова Е.А.* Клиническое обоснование применения метода дифференциальной термометрии биологически активных точек для оценки действия жидкости с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом// Научные ведомости. Серия: Медицина. Фармация. 2014. №11. С. 87–92.
- [10]. Устройство для моделирования отможенных различной степени тяжести: пат. BY 12002 / А. Л. Валентюкевич, В. Д. Меламед. – Опубл. 01.04.2019.
- [11]. *Харина В.И., Бережнева Т.А., Резников К.М., Филин А.А.* Дифференциальная термометрия при оценке фармакотерапии доксорубициновой кардиомиопатии в эксперименте// Вестник новых медицинских технологий. 2018. Т. 25, №2. С. 135–141.

A.L. VALENTYUKEVICH¹, V.D. MELAMED¹, S.A. CHIZHIK², A.I. OSLAVSKY¹

THERMAL IMAGING AS A METHOD FOR THE COLD INJURY SEVERITY DIAGNOSTIC

¹Grodno State Medical University, Grodno, Belarus;

²National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Summary

The possibility of using dynamic thermal imaging in experimental frostbite is investigated. It has been established that temperature imaging is effective as a non-invasive method of verifying the severity of damage at the initial stages and allows predicting the viability of tissues exposed to cold exposure, which can serve as a criterion for choosing further treatment tactics. The obtained thermographic results, characteristic of superficial and deep frostbite, correlate with morpho-histological studies.

Key words: rats, experiment, cold injury, diagnostics, temperature, morphological and histological studies.