

І.В. Стояновський¹, С.Д. Хіміч², О.М. Чемерис¹

Ефективність використання інфрачервоної термографії для діагностики некротизуючого фасциїту

¹Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, Україна

²Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова, Україна

Paediatric Surgery(Ukraine).2024.3(84):38-43; doi 10.15574/PS.2024.3(84).3843

For citation: Stoianovskiy IV, Khimich SD, Chemerys OM. (2024). The effectiveness of infrared thermography in the diagnosis of necrotizing fasciitis. Paediatric Surgery (Ukraine). 3(84): 38-43. doi: 10.15574/PS.2024.3(84).3843.

Метою дослідження було вивчення ефективності використання цифрової інфрачервоної термографії для ранньої діагностики та виявлення ділянок порушеної перфузії і некрозу тканин у пацієнтів із некротизуючим фасциїтом.

Матеріали та методи. Робота базується на основі спостережень за 10 пацієнтами з підозрою на некротизуючий фасциїт упродовж 2022–2023 років. За допомогою портативного цифрового інфрачервоного тепловізора пацієнтам виконували термографію уражених ділянок із метою отримання теплових карт і термограм, які згодом аналізували на наявність аномальних теплових патернів. Результати термографії порівнювали з іншими ознаками некротизуючого фасциїту.

Результати. У пацієнтів із некротизуючим фасциїтом виявлено теплову емісію шкіри у вигляді трьох концентричних зон із різною поверхневою температурою навколо основного вогнища інфекції. Центральна зона (N) мала знижену температуру, проміжна зона (F) – підвищену, а зовнішня зона (S) – температуру, що була близькою до нормальної для цієї ділянки тіла. Результати статистичного аналізу показали, що між зовнішньою та проміжною зонами не було суттєвої різниці в температурі. Однак були значні відмінності між зовнішньою і центральною зонами, а також між проміжною і центральною. Дослідження показало, що наявність зони «N» із різко зниженою тепловою емісією, оточеною зоною підвищеної теплової емісії «F» та різницею температур $5,72 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$, є ознакою пізньої стадії некротизуючого фасциїту. Водночас на ранній стадії розвитку некротизуючого фасциїту зона «N» є відсутньою, хоча спостерігається виражена зона «F», що оточена зоною «S» із різницею температури приблизно $1,92 \pm 0,28^{\circ}\text{C}$.

Висновки. Виразні теплові патерни, що простежуються в пацієнтів із некротизуючим фасциїтом, дають змогу підвищити точність діагностики та допомогти у своєчасному виконанні хірургічного втручання. Продовження вивчення та удосконалення медичної термографії допоможе надалі включати її у стандартну клінічну практику з метою поліпшення діагностично-лікувального процесу некротизуючого фасциїту.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом зазначених у роботі установ. На участь у дослідженні отримано інформовану згоду пацієнтів.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: інфекція м'яких тканин, рани, некроз, температура, термографія, безконтактна діагностика, хірургічна тактика.

The effectiveness of infrared thermography in the diagnosis of necrotizing fasciitis

I.V. Stoianovskiy¹, S.D. Khimich², O.M. Chemerys¹

¹Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Ukraine

²National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, Ukraine

The **aim** of this study was to investigate the effectiveness of digital infrared thermography in the early diagnosis and detection of areas of impaired perfusion and tissue necrosis in patients with necrotizing fasciitis.

Materials and methods. This scientific work is based on observations of 10 patients with suspicion of necrotizing fasciitis during 2022–2023. The patients underwent thermography using a digital infrared thermal imaging camera to obtain heat maps and thermograms, which were then analyzed for abnormal thermal patterns. The results of the thermography were compared with other signs of necrotizing fasciitis to assess the accuracy of the method.

Results. The study found that in patients with necrotizing fasciitis, there were three concentric zones with different surface temperatures around the main locus of infection. The central zone (N) had a lower temperature, the intermediate zone (F) had an increased temperature, and the outer zone (S) had a temperature close to normal for that area of the body. The results of statistical analysis indicated that there was no significant difference in temperature between the outer and intermediate zones. However, there were significant differences between the outer and central zones, as well as between the intermediate and central zones. The researchers found that the $5.72 \pm 0.23^\circ\text{C}$ temperature difference between the central zone (N) with reduced thermal emission and the intermediate zone (F) with increased thermal emission, is a sign of the late stage of necrotizing fasciitis. However, at the early stage of development of necrotizing fasciitis, the «N» zone is absent, although a pronounced «F» zone is observed, which is surrounded by the «S» zone with a temperature difference of approximately $1.92 \pm 0.28^\circ\text{C}$.

Conclusions. Distinct thermal patterns observed in patients with necrotizing fasciitis provide an opportunity to improve diagnostic accuracy and assist in timely surgical intervention. Continuing the study and improvement of medical thermography can make it possible to include it in standard clinical practice in the future to improve the diagnostic and treatment process of necrotizing fasciitis.

The research was carried out in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The research protocol was approved by the Local Ethics Committee of the institutions indicated in the work. The informed consent of patients was obtained for participation in the study. No conflict of interests was declared by the authors.

Keywords: soft tissue infection, wounds, necrosis, temperature, thermography, non-contact diagnostics, surgical tactics.

Вступ

Відомо, що некротизуючий фасциїт – це агресивна бактеріальна хірургічна інфекція м'яких тканин, яка швидко прогресує і при не своєчасному виявленні супроводжується високим рівнем смертності. Тому раннє розпізнавання цього стану має вирішальне значення для покращення результатів лікування пацієнтів із такою патологією [7,8].

Некротизуючий фасциїт характеризується тромбозом фасціальних кровоносних судин, що призводить до некрозу тканин, і його буває важко відрізнити від інших інфекцій м'яких тканин на основі лише клінічних симптомів [7]. Саме тому одним із можливих методів діагностики, який останнім часом викликає підвищений інтерес, є цифрова інфрачервона термографія, тобто неінвазивна, безконтактна процедура медичної візуалізації, яка вимірює тепло, що випромінюється з поверхні шкіри, і перетворює ці вимірювання в теплову карту або термограму. Аномальні теплові патерни, візуалізовані на термограмах, можуть вказувати на основні фізіологічні зміни або патологічні стани, такі як порушення кровотоку, запалення або пошкодження тканин [4].

Не можна сказати, що цей метод новий, адже вивчення можливостей термографії у медичній практиці розпочалося ще понад 60 років тому [1], коли було віднайдено її позитивні можливості для

виявлення ознак запалення, візуалізації раку молочної залози та моніторингу травм опорно-рухового апарату [6].

Проте справжній інтерес до цього методу діагностики відновився лише після появи тепловізійних камер із достатньою роздільною здатністю і можливістю цифрової обробки інформації. Під час пандемії COVID-19 метод цифрової інфрачервоної термографії довів свою діагностичну ефективність і завдяки неінвазивному характеру став особливо привабливим для медичного застосування [3], хоча в літературі описаний лише один клінічний випадок використання цифрової інфрачервоної термографії для можливої діагностики некротизуючого фасциїту [2].

Інфрачервона термографія може бути особливо корисною для виявлення ділянок аномального розподілу тепла, адже це є раннім індикатором ураження судин і некрозу тканин [5,6,9].

Таким чином, виявляючи ділянки підвищеної або зниженої температури, термографічна візуалізація має потенціал для раннього розпізнавання некротизуючого фасциїту.

Метою дослідження було вивчення ефективності використання цифрової інфрачервоної термографії для ранньої діагностики та виявлення ділянок порушеної перфузії та некрозу тканин у пацієнтів із некротизуючим фасциїтом.

Таблиця 1

Показники локальної температури в різних зонах патологічного процесу в пацієнтів із некротизуючим фасціїтом

№ з/п	Локальна температура, °C			Різниця температур, °C		
	S	F	N	ΔT1 (S-F)	ΔT2(S-N)	ΔT3 (F-N)
1	32,1	33,6	26,3	-1,5	5,8	7,3
2	31,8	34,7	29,4	-2,9	2,4	5,3
3	32,5	33,5	28,6	-1,0	3,9	4,9
4	34,4	35,3	29,8	-0,9	4,6	5,5
5	30,3	33,3	26,8	-3,0	3,5	6,5
6	33,6	36,2	30,2	-2,6	3,4	6,0
7	24,5	27,3	22,2	-2,8	2,3	5,1
8	32,6	35,0	29,2	-2,4	3,4	5,8
9	34,2	34,9	29,0	-0,7	5,2	5,9
10	30,5	31,9	27,0	-1,4	3,5	4,9
M±m	31,65±0,91	33,57±0,79	27,85±0,75	-1,92±0,28	3,80±0,35	5,72±0,23

Матеріали і методи дослідження

У дослідженні взяли участь 10 пацієнтів із підозрою на некротизуючий фасціїт, які впродовж 2022–2023 років зверталися у клінічні бази Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького.

Дослідження проводили за допомогою цифрової інфрачервоної тепловізійної портативної камери «FlirOnePro» (FLIR Systems, Inc), яка приєднується до смартфона та оснащена датчиками з роздільною здатністю 0,1°C і тепловою чутливістю 150 мК.

Пацієнтам виконували термографію уражених ділянок із метою отримання теплових карт і термограм, які згодом аналізували на наявність аномальних теплових патернів, що водночас вказують на порушення кровотоку та пошкодження тканин.

Окрім інфрачервоної термографії, усі учасники пройшли стандартне клінічне обстеження, яке проводили медичні працівники із досвідом діагностики та лікування некротизуючого фасціїту. Результати термографічної візуалізації порівнювали з іншими місцевими проявами досліджуваної патології, даними ультрасонографії, лабораторних показників, мікробіологічних посівів та інтраопераційних патоморфологічних змін, які характеризували виявлений патологічний процес як некротизуючий фасціїт.

Статистичну різницю оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента, значення df (ступінь свободи), p (рівень статистичної значущості), t (статистичний критерій для порівняння середніх) та ΔT (різниця температур між зонами ураження) використовували для визначення значущості різниці температур між зонами поверхні шкіри із різною тепловою емісією.

Дослідження було проведено відповідно до етичних принципів викладених у Гельсінській Декларації

та схвалено локальним етичним комітетом. На проведення дослідження було отримано інформовану згоду пацієнтів.

Результати дослідження та їх обговорення

У досліджуваній когорті пацієнтів цифрова інфрачервона термографія дала змогу виокремити певні особливості. Зокрема, в пацієнтів із некротизуючим фасціїтом було виявлено теплову емісію шкіри у вигляді трьох основних зон із різною поверхневою температурою навколо основного вогнища інфекції.

Зазвичай, центральна зона «N» мала знижену температуру, проміжна зона «F» – підвищену температуру, а зона «S» – температуру, близьку до нормальної для цієї анатомічної ділянки. Цифрові параметри даних локальної температури в кожній із зон наведено в таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, середня температура в зоні «S» становила 31,65±0,91°C. У зоні «F» середня температура була 33,57±0,79°C, а у зоні «N» – 27,85±0,75°C.

Оскільки поверхнева температура в різних анатомічних ділянках є мінливою величиною, то ми порівнювали різницю температур між різними зонами.

Статистичної відмінності між середніми показниками температури в зонах «S» і «F» не виявлено (t=1,590; df=18; p>0,05), а різниця температур ΔT1(S-F) становила -1,92±0,28°C. Натомість занотовано істотні відмінності середніх показників температури між зонами «S» і «N» (t=3,217; df=18; p<0,05) із різницею температур ΔT2(S-N) – 3,80±0,35°C. Водночас найсуттєвішу різницю було виявлено під час порівняння середніх значень температури між зонами «F» і «N» (t=5,203; df=18; p<0,0001), ΔT3(F-N) становить 5,72±0,23°C.



Рис. 1. Клінічні і термографічні прояви некротизуючого фасциїту на пізній стадії. Простежується чітко окреслена зона повного некрозу шкіри в центрі гомілки та більш виражена зона субфасціального поширення, яка помітна на термограмі і підтверджена інтраопераційно

Таким чином стало зрозуміло, що виявлення за допомогою цифрової інфрачервоної термографії зон із таким різним температурним режимом може мати важливе значення для ранньої діагностики та хірургічного лікування некротичного фасциїту, а порівняння локальних шкірних ознак видимих на термографічних зображеннях із окремими тепловими зонами здатне допомогти у прийнятті правильного рішення щодо обсягу хірургічного втручання та видалення тканин (рис. 1).

Виявлення центральної зони «N» з найнижчою температурою ($-3,80 \pm 0,35^\circ\text{C}$ порівняно зі здоровою ділянкою) може вказувати на ділянки з невідвратною гіперперфузією та ішемією тканин. Інтраопераційно в цій ділянці простежуються очевидні ознаки некрозу і гангрені м'яких тканин, тому, під час хірургічного втручання ця зона повинна підлягати повному видаленню на всю товщу нежиттєздатних м'яких тканин.

Натомість по периметру зони «N» у пацієнтів на пізній стадії некротизуючого фасциїту розташовується проміжна зона «F» з температурною різницею $5,72 \pm 0,23^\circ\text{C}$, порівняно із зоною «N» та $1,92 \pm 0,28^\circ\text{C}$ порівняно із зоною «S», що може вказувати на зони активного запалення та інфекції, яка «тліє» і ексцентрично поширюється на рівні фасції, хоча видимого некрозу шкіри ще не спричинила.

Такий підхід дає змогу хірургу визначити зону доцільного висічення тканин на рівні фасції із можливістю зберегти шкіру над цією ділянкою. Оперативне ж втручання в таких випадках полягає в розшаруванні м'яких тканин вздовж ураженої фасції та виконанні підшкірної фасціектомії в межах

зміненої фасції. Слід звернути увагу й на те, що додатковою інтраопераційною ознакою ураженої фасції може бути тест на легке розсепарування ураженої фасції, при якому зазвичай спостерігається виділення мутного ексудату. Розсепарування фасції є важливою інтраопераційною маніпуляцією в зоні «F» для забезпечення дренажу ексудату. Таким чином, виконана доопераційно термографія дає змогу спланувати межі доцільної фасціектомії в зоні «F».

Зона «S» з температурою, близькою до нормальної, може вказувати на ділянки з добре збереженою перфузією тканин, відсутністю ураження фасції й потреби в її висіченні. Зазвичай антибіотикотерапія і протизапальна терапія дозволяють зберегти цю зону від необхідності хірургічного втручання.

Отже, використовуючи інформацію, отриману за допомогою інфрачервоної термографії та порівнюючи її із місцевими шкірними ознаками, хірурги отримують «інструмент схвалення» більш обґрунтованого рішення щодо стадії захворювання в кожній зоні пошкодження, що дає змогу оптимізувати стратегію майбутнього хірургічного лікування. Такий персоналізований підхід потенційно може покращити результати лікування пацієнтів, забезпечуючи цілеспрямоване і своєчасне втручання, адаптоване до специфічних патофізіологічних змін, що спостерігаються в різних зонах патологічного процесу.

Розуміння відцентрового поширення некротизуючого процесу та появу некрозу і різко зниженої температури в центрі зони із попередньо найвищими проявами запалення та тепловою емісією нагадує вигляд «пропаленої кіноплівки». Тому при прогресу-

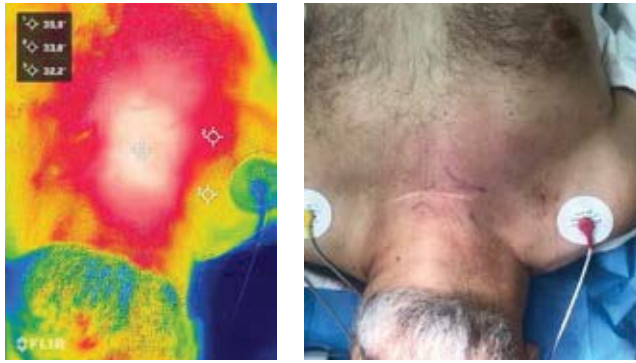


Рис. 2. Клінічні і термографічні прояви некротизуючого фасциїту на початковій стадії. простежується ледь помітна, невелика за площею гіперемія шкіри передньої поверхні грудної клітки, яка має чітко окреслені і значно ширші межі на цифровій термографії

суванні патології зона некрозу шкіри поступово збільшується, а по периметру поступово розширюється зона фасціального ураження. Таким чином відбувається поетапна зміна зон «S» → «F» → «N».

За нашими спостереженнями, наявність «симптому пропаленої кіноплівки», або зони «N» із різко зниженою тепловою емісією, оточеною зоною підвищеної теплової емісії «F» та різницею температур $5,72 \pm 0,23^\circ\text{C}$ є ознакою пізньої стадії некротизуючого фасциїту.

Натомість на попередній, більш ранній стадії розвитку некротизуючого фасциїту, зона «N» ще є відсутньою, проте простежується виражена зона «F», оточена зоною «S» із різницею температури біля $1,92 \pm 0,28^\circ\text{C}$. Водночас зовнішні місцеві клінічні прояви малопомітні. Цікаво, що інколи в цій ділянці можна побачити помірний опух, незначне, часом ледь помітне почервоніння та біль – тобто наявність симптомів, які зазвичай хірургами не трактуються як достатні для виконання хірургічної інтервенції. Лише при прогресуванні процесу на рівні фасції який призводить до вторинного некрозу шкіри з'являються підозри на некротизуючий фасциїт.

Водночас виконання хірургічного втручання на ранній стадії вимагає лише розсепарування/висічення фасції та потенційно збереження шкірного покриву. Також на цій стадії пацієнт не страждає від системних проявів інфекції та раннє втручання супроводжується набагато кращими наслідками лікування.

На рис. 2 наведено випадок некротизуючого фасциїту грудної клітки, який був встановлений за допомогою цифрової інфрачервоної термографії на ранній стадії.

Єдиною скаргою в цього пацієнта був інтенсивний локальний біль, що неможливо було чимось пояснити і така ситуація вимагала додаткового обстеження. Як видно із фото на рисунку 2, цифрова

термографія дозволила візуалізувати зону локальної гіпертермії при майже непомітних зовнішніх ознаках, відсутності вираженої гіперемії. Виявлення зони найвищої температури дозволило охарактеризувати цю ділянку як ймовірне вогнище інфекції, що змусило здійснити його додаткове ультразвукове обстеження, на якому було виявлено потовщення поверхневої фасції із прошарком рідини над великим грудним м'язом.

Інтраопераційно в цій зоні простежувався набряк підшкірної жирової клітковини, водянистість поверхневої фасції, її легке розшарування та виділення мутного ексудату. За патоморфологічними характеристиками ця центральна зона при початковому фасциїті відповідала зоні «F». Пацієнту було виконано фасціоектомію в межах розширеної фасції.

Таким чином, інтеграція результатів інфрачервоної термографії у процес прийняття клінічних рішень може підвищити точність хірургічного планування, особливо в діагностично сумнівних випадках некротизуючого фасциїту, коли ступінь ураження тканин може бути не очевидним лише за допомогою традиційної клінічної оцінки. Такий підхід дає змогу доповнити наявні методи діагностики та візуалізації, що своєю чергою сприятиме покращенню результатів лікування пацієнтів.

Виявлення окремих теплових зон за допомогою інфрачервоної термографії є новим підходом до ранньої діагностики некротичного фасциїту. Фіксуючи тонкі температурні коливання, пов'язані з ураженням судин і пошкодженням тканин, цей метод візуалізації є перспективним як неінвазійний і об'єктивний інструмент для виявлення зон ризику і визначення стратегії втручання в пацієнтів із підозрою на некротизуючий фасциїт.

З урахуванням невеликої кількості обстежених пацієнтів у нашому дослідженні доцільною є подальша валідація методу інфрачервоної термографії за допомогою більших проспективних досліджень та багаточетрових випробувань, для встановлення надійності та відтворюваності інфрачервоної термографії у ранньому виявленні некротизуючого фасциїту.

Висновки

Цифрова інфрачервона термографія є відносно доступним та інформативним методом діагностики, який може бути корисним інструментом для раннього виявлення та моніторингу некротизуючого фасциїту. Унікальні теплові патерни, що спостерігаються в пацієнтів із цим захворюванням, дають змогу підвищити точність діагностики та допомогти у своєчасному втручанні. Подальше вивчення та вдо-

сконалення медичної термографії може призвести до її включення у стандартну клінічну практику лікування некротизуючого фасціїту.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

1. Barnes RB. (1963). Thermography of the human body. Science (New York, N.Y.). 140(3569): 870–877. <https://doi.org/10.1126/science.140.3569.870>.
2. Brabrand M, Dahlin J, Fløjstrup M, Zwisler ST, Michelsen J et al. (2017). Use of Infrared Thermography in Diagnosing Necrotizing Fasciitis in the Emergency Department: A Case Study. European journal of case reports in internal medicine, 4(10): 000719. https://doi.org/10.12890/2017_000719.
3. Kesztyüs D, Brucher S, Wilson C, Kesztyüs T. (2023). Use of Infrared Thermography in Medical Diagnosis, Screening, and Disease Monitoring: A Scoping Review. Medicina (Kaunas, Lithuania). 59(12): 2139. <https://doi.org/10.3390/medicina59122139>.
4. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. (2012). Medical applications of infrared thermography: A review. Infrared physics & technology. 55(4): 221–235. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>.
5. Ortiz-Álvarez J, Monserrat-García MT, Gimeno-Castillo J, Conejo-Mir Sánchez J. (2023). Thermography for the follow-up of skin and soft tissue infections. Enfermedades infecciosas y microbiología clinica (English ed.). 41(6): 379–380. <https://doi.org/10.1016/j.eimce.2023.04.007>.
6. Ramirez-Garcia Luna JL, Bartlett R, Arriaga-Caballero JE, Fraser RDJ, Saiko G. (2022). Infrared Thermography in Wound Care, Surgery, and Sports Medicine: A Review. Frontiers in physiology. 13: 838528. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.838528>.
7. Stevens DL, Bryant AE. (2018). Necrotizing Soft-Tissue Infections. The New England journal of medicine. 378(10): 971. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1800049>.
8. Wong CH, Chang HC, Pasupathy S, Khin LW, Tan JL, Low CO. (2003). Necrotizing fasciitis: clinical presentation, microbiology, and determinants of mortality. JBJS. 85(8): 1454–1460.
9. Yassin AM, Kanapathy M, Khater AME, El-Sabbagh AH, Shouman O et al. (2023). Uses of Smartphone Thermal Imaging in Perforator Flaps as a Versatile Intraoperative Tool: The Microsurgeon's Third Eye. JPRAS open. 38: 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.jptra.2023.08.004>.

Відомості про авторів:

Стояновський Ігор Володимирович – к.мед.н., доц. каф. хірургії №1 ЛНМУ ім. Д. Галицького. Адреса: м. Львів, вул. Пекарська, 69. <https://orcid.org/0000-0003-3336-1016>.

Хіміч Сергій Дмитрович – д.мед.н., проф., зав. каф. загальної хірургії ВНМУ ім. М.І. Пирогова. Адреса: м. Вінниця, вул. Пирогова, 56. <https://orcid.org/0000-0002-8643-2140>.

Чемерис Орест Мирославович – д.мед.н., проф. каф. хірургії №1 ЛНМУ ім. Д. Галицького. Адреса: м. Львів, вул. Пекарська, 69. <https://orcid.org/0000-0001-8550-6980>.

Стаття надійшла до редакції 25.06.2024 р., прийнята до друку 09.09.2024 р.