

Застосування інфрачервоної термографії при вогнепальних пораненнях живота

I. В. Собко *

Українська військово-медична академія, Київ

Ключові слова:
інфрачервона термографія, вогнепальні поранення живота.

Запорізький медичний журнал.
2024. Т. 26, № 3(144).
С. 258-264

*E-mail:
sobko.i@ukr.net

Мета роботи – визначити ефективність інфрачервоної термографії для виявлення нежиттєздатних тканин паренхіматозних органів, що мають бути видалені, у краях ранових дефектів порожнистих органів і при хірургічній обробці вогнепальних ран передньої черевної стінки.

Матеріали і методи. Проаналізували результати застосування інфрачервоної термографії під час надання хірургічної допомоги 67 пораненим на другому рівні медичного забезпечення бойових дій в умовах Передової хірургічної групи Військового мобільного госпіталю.

Результати. Наведено клінічні приклади та результат застосування інфрачервоної термографії під час діагностики та лікування вогнепальних поранень м'яких тканин черевної стінки, ушкоджень паренхіматозних і порожнистих органів живота.

Висновки. Інтраопераційна інфрачервона термографія дає змогу швидко визначити життєздатність м'яких тканин черевної стінки, межі некротизованих тканин паренхіматозних органів, стан кровопостачання стінок ушкоджених порожнистих органів і їхню життєздатність. Це сприяє оптимізації хірургічної тактики при вогнепальних пораненнях живота.

Keywords:
infrared thermography, abdominal gunshot wound.

Zaporozhye medical journal.
2024;26(3);258-264

The use of infrared thermography for abdominal gunshot wounds

I. V. Sobko

Aim. To determine the effectiveness of infrared thermography to identify tissue debris of parenchymal organs and in the wound edges of hollow organs to be removed as well as for the surgical treatment of gunshot wounds of the anterior abdominal wall.

Materials and methods. The results of the infrared thermography use in the provision of surgical care to 67 wounded at the second level of medical care in the conditions of the Forward Surgical Group of the Military Mobile Hospital were analyzed.

Results. Clinical examples and results of the infrared thermography use for the diagnosis and treatment of gunshot wounds of the abdominal wall soft tissues, injuries to parenchymal and hollow abdominal organs are presented.

Conclusions. Intraoperative infrared thermography allows to quickly assess the viability of the abdominal wall soft tissues, necrotic tissue margins of parenchymal organs, the state of blood supply to the walls of damaged hollow organs and their viability, thereby optimizing surgical tactics for abdominal gunshot wounds.

Значна кількість незадовільних результатів лікування вогнепальних поранень живота спричинена ускладненнями: перитонітом, внутрішньочеревними абсцесами, зовнішніми норицями (кишковими, панкреатичними, жовчаними, сечовими), вторинними кровотечами, флегмонами стінки живота й заочеревинного простору. Здебільшого ці ускладнення стають результатом неспроможності швів ран і сформованих анастомозів порожнистих органів, неспроможності швів ран паренхіматозних органів, некрозів ділянок цих органів і їх центральних гематом [1]. Часто такі наслідки спричинені не технічною помилкою під час втручання, а тим, що під час невідкладної операції у воєнно-польових умовах із постійним цейтнотом хірург не завжди у змозі *ad oculos* визначити межі між життєздатними та нежиттєздатними, сумнівними тканинами зони молекулярного струсу. Шви, що накладені у межах цих двох зон, надалі призводять до неспроможності зашитих ран, сформованих анастомозів тощо.

Тому важливе значення має інтраопераційне визначення життєздатності тканин порожнистих і паренхіматозних органів, а також інших структур черевної порожнини під час планових і, особливо, невідкладних операцій. Більшість методик, що застосовують з цією метою, ґрунтуються на визначенні стану мікроциркуляції в тканинах органа [1].

Одна з сучасних методик визначення життєздатності тканин – безконтактна інфрачервона термографія (ІЧТ). Метод заснований на дистанційному оцінюванні просторового розподілу температури біологічного об'єкта за допомогою термографа (тепловізора) – приладу для реєстрації теплового випромінювання в невидимій оком інфрачервоної області електромагнітного спектра [2]. Принцип роботи термографа полягає у зміні електричних характеристик матеріалу чутливого шару фотоприймача шляхом поглинання енергії інфрачервоного випромінювання, що надійшла від об'єкта контролю. Температурна чутливість (мінімальна різниця температур, що розпізнається) термографічних приладів при температурі контрольованої поверхні 30 °C може досягати 0,02 °C. Візуалізація теплової картини тіла пацієнта за допомогою умовних відмінностей яскравості або кольорового контрасту областей зображення дає змогу визначити різницю температур певних ділянок і проаналізувати анатомо-топографічні та функціональні зміни в ділянці, яку вивчають. Це дає змогу визначити локалізацію патологічних процесів, що завжди пов'язані з різними формами порушення кровообігу (мікроциркуляції). Більшість сучасних термографів можна підключити для передачі даних на комп'ютер для наступного опрацювання й аналізу медичним працівником [3,4].

1а



1б



1в



Рис. 1. а: Тепловізор Seek Thermal CompactPRO Android USB-C; б: кріплення тепловізора Seek Thermal CompactPRO до мобільного телефону; в: виконання інфрачервоної термографії, застосовуючи тепловізор Seek Thermal CompactPRO.

Піонером застосування методу ІЧТ вважають хірурга Роберта Лаусона з Канади, який в 1956 році застосував військовий термограф для нічного бачення з діагностичною метою та зафіксував локальне підвищення інтенсивності інфрачервоного випромінювання в проекції зляканої пухлини молочної залози. В 1971 році засновано Європейську асоціацію термографістів, а в 1974 році відбувся Європейський конгрес з медичної термографії [5].

В Україні вперше термографічні дослідження виконав професор А. І. Помозгов у Київському науково-дослідному рентгенрадіологічному та онкологічному інституті АМНУ на початку 1970-х років. У 1999 році в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова створено термограф із матричним фотоприймачем. Це дало змогу відродити клінічну термодіагностику, передусім у діагностиці онкологічних захворювань молочної залози [5,6].

Перший досвід застосування ІЧТ у клінічній практиці не призвів до широкого впровадження методу, адже його витіснили ультразвукова діагностика (УЗД), комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія тощо. Причинами стали висока вартість обладнання, низька чутливість і недостатня роздільна здатність апаратури, низька вибірковість (неспецифічність). Розроблення сучасних моделей тепловізорів дало змогу подолати названі недоліки, значно підвищило інформативність отриманих даних. Тепер методику ІЧТ доволі широко використовують в онкології, акушерстві та гінекології, отоларингології, травматології, судинній хірургії. Перевагами методу є абсолютна неінвазивність, безпечність для пацієнта, зручність використання, економічність [7,8,9].

Незважаючи на простоту застосування, значну інформативність і швидкість отримання результатів, метод ІЧТ ще не став поширеним у діагностиці бойової хірургічної травми живота, його застосовують передусім для діагностики зон поширення запального процесу при гнійно-септичних ускладненнях вогнепальних поранень м'яких тканин [10,11].

Беручи до уваги наведені факти, вирішили застосувати методику ІЧТ для визначення перфузії органів і тканин у практиці військово-польової хірургії, інтраопераційного миттєвого виявлення некротизованих і сумнівно життєздатних тканин під час діагностики ушкоджень органів черевної порожнини (ОЧП).

Мета роботи

Визначити ефективність інфрачервоної термографії для виявлення нежиттєздатних тканин паренхіматозних органів, що мають бути видалені, у краях ранових дефектів порожнистих органів і при хірургічній обробці вогнепальних ран передньої черевної стінки.

Матеріали і методи дослідження

Проаналізували результати застосування ІЧТ під час надання хірургічної допомоги 67 пораненим із вогнепальними пораненнями живота на другому рівні медичного забезпечення бойових дій в умовах Передової хірургічної групи Військового мобільного госпіталю в період з січня до грудня 2023 року.

Для термографії застосовували портативний тепловізор Seek Thermal CompactPRO Android USB-C (CQ-AAA), що може бути використаний у медицині, а також із побутовою та промисловою метою (рис. 1).

Використовували режим зображення з фіксацією температури в центральній точці. У цьому режимі температурна шкала, розташована зліва на тепловому зображенні, показує різницю температур об'єкта дослідження від максимального значення (верхня частина шкали – яскраво-червоний колір показує максимальну температуру в центральній точці вимірювання з цифровим показником), зменшуючись до жовтого, зеленого, голубого та темно-синього (мінімальна температура – нижня частина шкали з цифровим показником). Це дає змогу встановити градієнт різниці температури на ділянці за формулою: $\Delta^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{C}_{\text{max}} - ^{\circ}\text{C}_{\text{min}}$, де $\Delta^{\circ}\text{C}$ – градієнт температури в зоні дослідження, $^{\circ}\text{C}_{\text{max}}$ – максимальна температура шкали в центральній точці, $^{\circ}\text{C}_{\text{min}}$ – мінімальна температура відповідно до температурної шкали.

Результати

Метод ІЧТ застосовували у поранених із вогнепальними ушкодженнями для визначення життєздатності тканин та оптимізації обсягу хірургічних втручань черевної стінки (ЧС) та ОЧП. Під час обстеження поранених виконували УЗД у режимі FAST-протоколу, за необхідності – мультиспіральну комп'ютерну томографію черевної порожнини; в сумнівних випадках виконували діагностичний лапароцентез / лапароскопію.

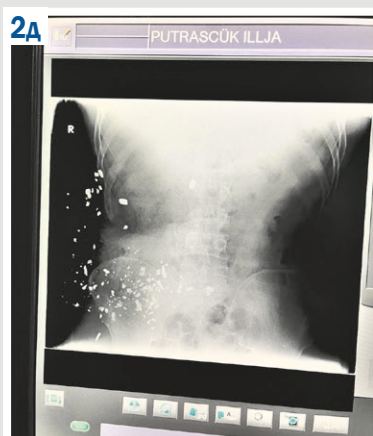
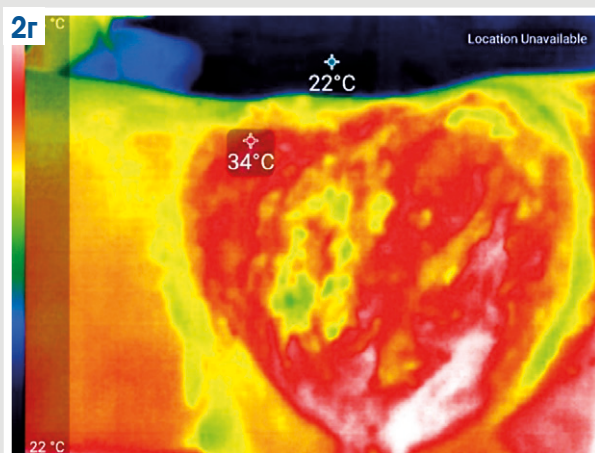
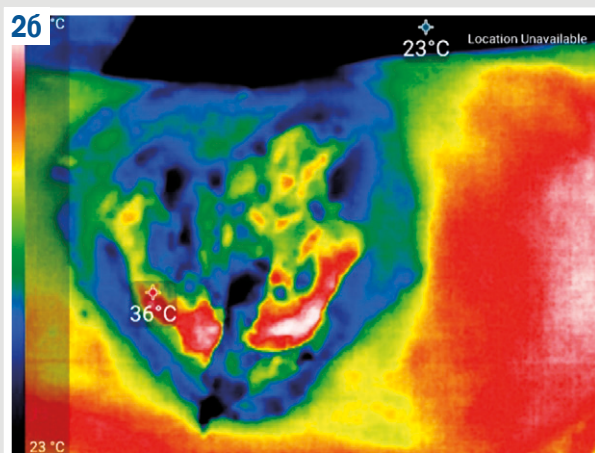


Рис. 2. Поранений К. **а:** загальний вигляд рани ЧС; **б:** ІЧТ рани (синій і зелений кольори – некротизовані тканини); **в:** загальний вигляд рани ЧС після ПХО рани; **г:** ІЧТ рани після ПХО рани; **д:** оглядова рентгенограма перед виконанням ПХО; **е:** осколки, видалені з рани ЧС.

Клінічний випадок 1. Поранений К. Діагноз: вогнепальне осколкове множинне непроникне поранення правої бокової стінки живота, перелом остистих відростків L3-4, масивний дефект м'яких тканин правої бокової ділянки живота.

Під час надходження виконали оглядову рентгенографію живота, що показала наявність чималої кількості осколків у м'яких тканинах ЧС. Після діагностичного лапароцентезу визначили, що ушкоджень ОЧП немає, виконали ІЧТ-дослідження (рис. 2а, б). Це дало змогу візуалізувати зону некрозу м'яких тканин ЧС (на ІЧТ некротизовані тканини позначено голубим

і темно-синім кольором), $\Delta^{\circ}\text{C} = 13^{\circ}\text{C}$. Здійснили хірургічне втручання – первинну хірургічну обробку (ПХО) рани ЧС (рис. 2в). Після цього повторно виконали ІЧТ (рис. 2г), що не виявила некротизованих тканин у зоні ушкодження і підтвердила оптимальність здійсненої ПХО рани ($\Delta^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}$).

Під час ПХО рани видалено чимало сторонніх тіл (осколків), що були виявлені у результаті рентгенографії (рис. 2д, е).

Найбільшу діагностичну цінність застосування ІЧТ мало під час діагностики вогнепальних ушкоджень ОЧП (і паренхіматозних, і порожнистих).

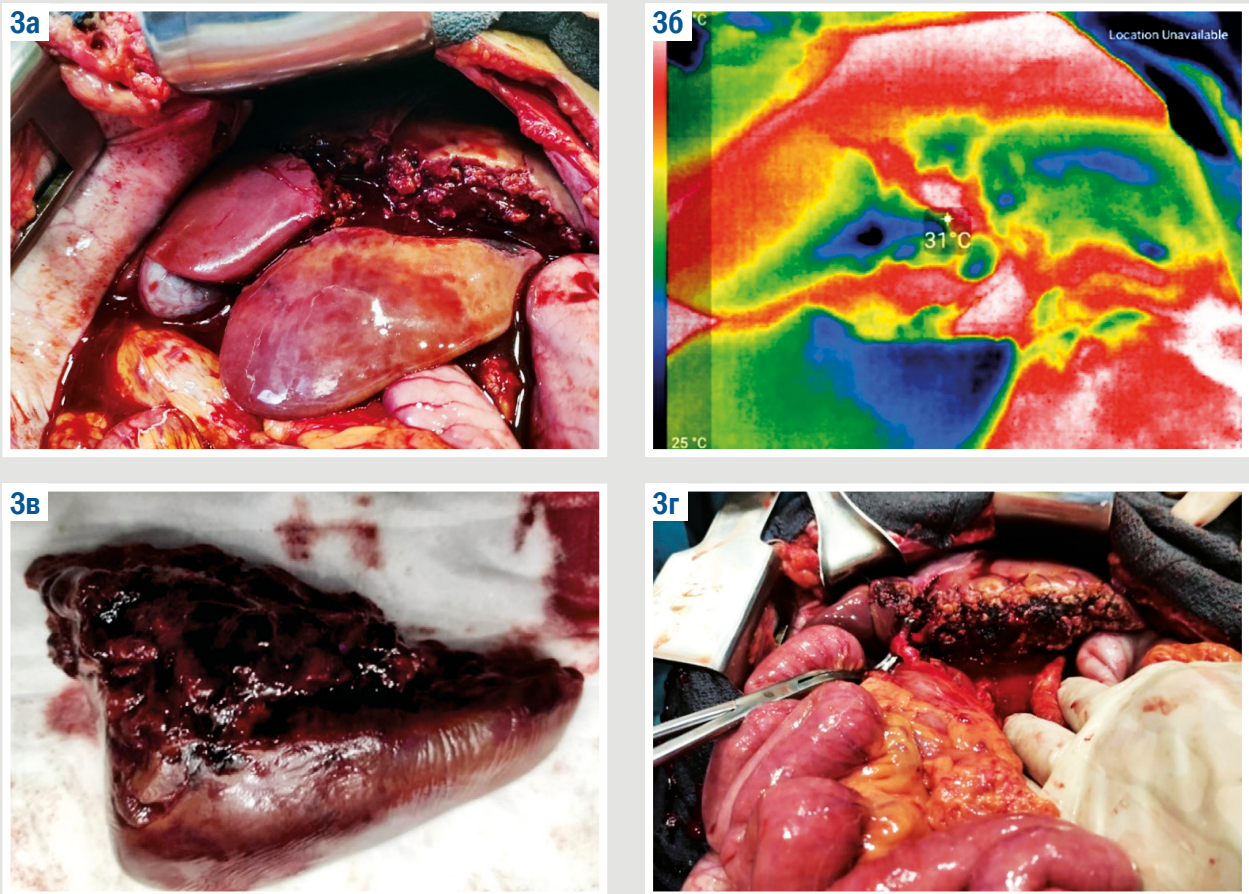


Рис. 3. Поранений Д. **а:** загальний вигляд ушкодження печінки; **б:** ІЧТ ушкодження печінки (некротизована частка печінки на термограмі має зелено-синій колір); **в:** макропрепарат видаленої некротизованої частки печінки; **г:** печінка після резекції-обробки.

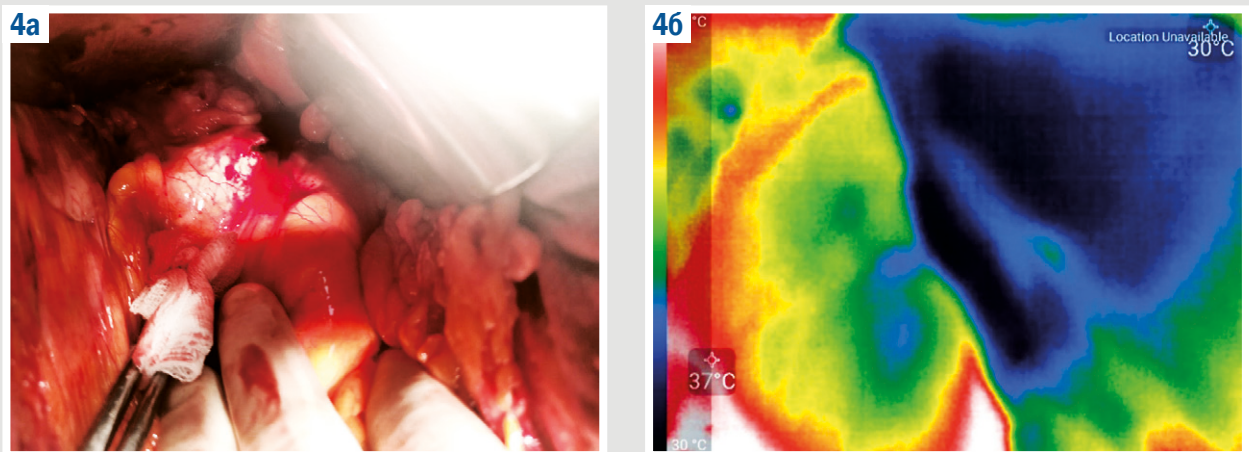


Рис. 4. Поранений Ч. **а:** загальний вигляд зони поранення підшлункової залози; **б:** термограма зони поранення підшлункової залози.

Клінічний випадок 2. Поранений Д. Діагноз: вогнепальне осколкове сліпе проникне поранення живота з ушкодженням печінки Sg2-5, з майже повним травматичним відривом Sg2 (Moore IV), гемоперитонеум, шок II (рис. 3). За результатами ІЧТ ($\Delta^{\circ}\text{C} = 8^{\circ}\text{C}$) у цього пораненого без сумнівів виконали атипичну резекцію-обробку печінки в межах неушкоджених тканин. У післяопераційному періоді ускладнення не зафіксовані (УЗД ЧП на 3, 7, 10, 21 добу, МСКТ на 5 добу).

Клінічний випадок 3. Поранений Ч. Діагноз: вогнепальне осколкове проникне поранення живота (поперековий відділ) з ушкодженням тіла підшлункової залози (рис. 4).

Виконали інтраопераційну ІЧТ підшлункової залози, у результаті виявили незначну зону крайового некрозу верхнього контуру її тіла ($\Delta^{\circ}\text{C} = 3\text{--}4^{\circ}\text{C}$). Обсяг хірургічного втручання обмежено тампуванням підшлункової залози, дренажуванням сальникової сумки та ЧП. У піс-

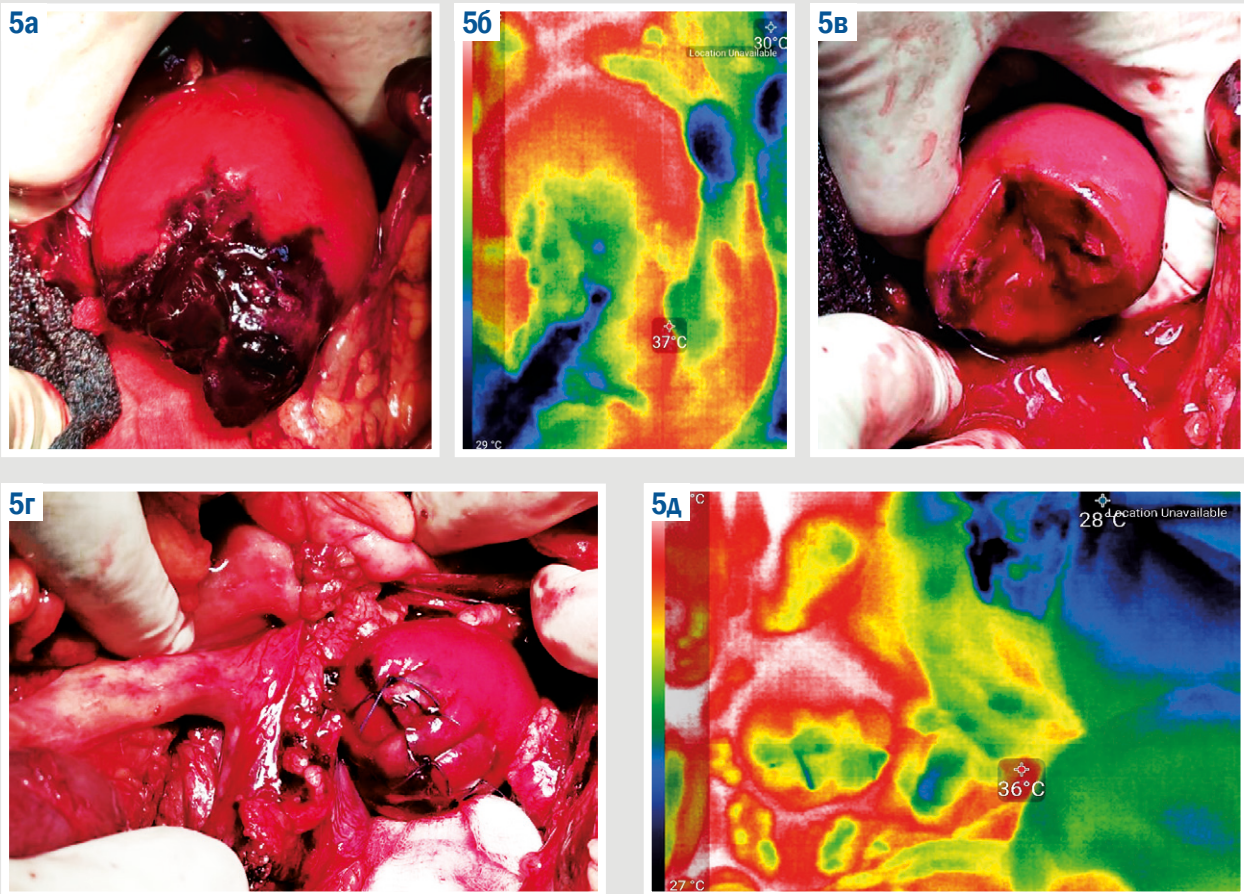


Рис. 5. Поранений А. а: загальний вигляд нирки з зоною поранення; б: ІЧТ нирки з зоною ураження; в: нирка після резекції нижнього полюса; г: нирка з накладеними швами після резекції її полюса; д: ІЧТ нирки після резекції.

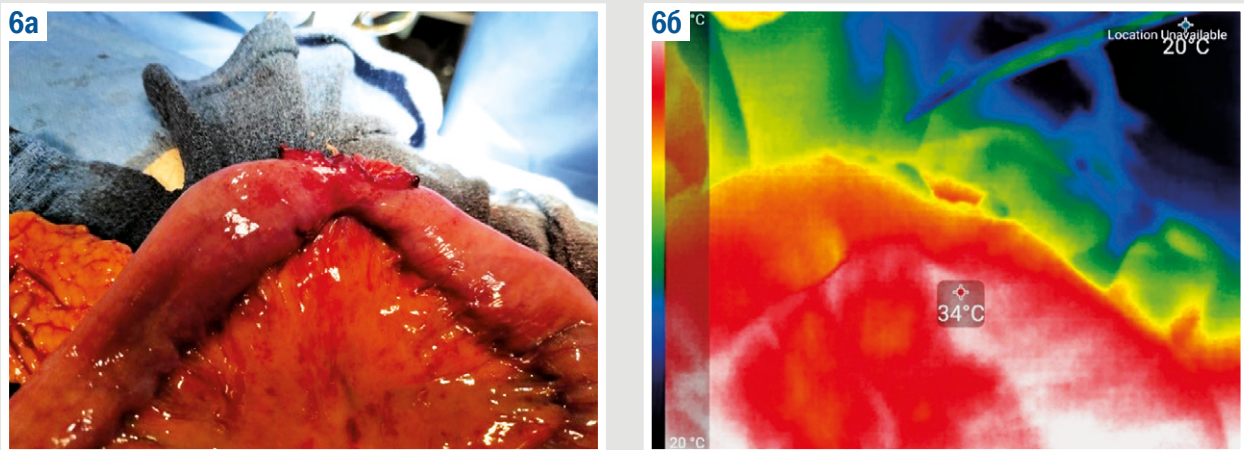


Рис. 6. Поранений Л. а: дотичне поранення петлі тонкої кишки; б: ІЧТ петлі тонкої кишки в місці поранення – кровопостачання брижового краю кишки достатнє, кишка життєздатна.

ляопераційному періоді зафіксовано ознаки посттравматичного панкреатиту, хворий одержав комплексну інтенсивну терапію.

Клінічний випадок 4. Поранений А. Діагноз: вогнепальне осколкове проникне поранення живота з ушкодженням нижнього полюса лівої нирки. Інтраопераційна ІЧТ лівої нирки дала змогу виявити обмежену зону некрозу ($\Delta t = 8^\circ\text{C}$) й оптимізувати хірургічне втручання в межах резекції нижнього полюса цієї нирки (рис. 5).

У післяопераційному періоді пацієнт перебував під динамічним спостереженням, ускладнень з боку оперованої нирки не було.

Клінічний випадок 5. Поранений Л. Діагноз: вогнепальне осколкове проникне поранення живота з дотичним ушкодженням тонкої кишки та сигмоподібної кишки.

Під час лапаротомії виявили дотичне ушкодження стінки тонкої та сигмоподібної кишок. За даними інтраопераційної ІЧТ тонкої кишки, виявлено мінімальні

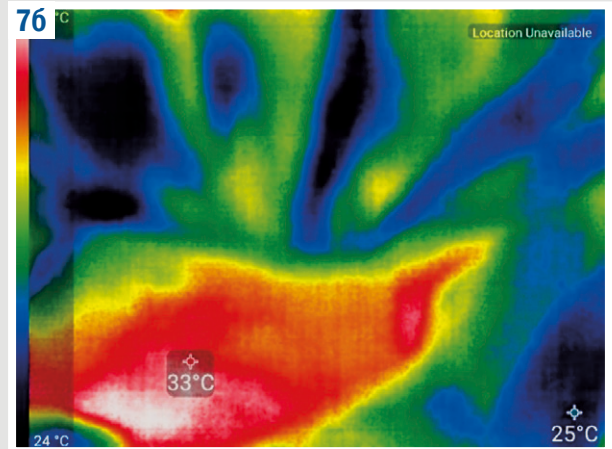
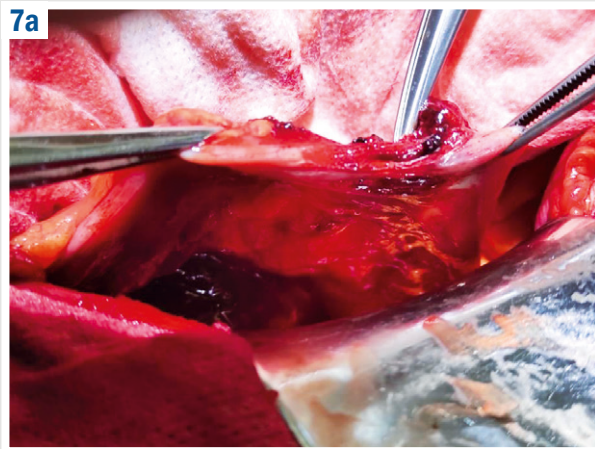


Рис. 7. Поранений Л. а: ділянка дотичного поранення сигмоподібної кишки; б: ИТ зони поранення сигмоподібної кишки – кровопостачання стінки кишки достатнє.

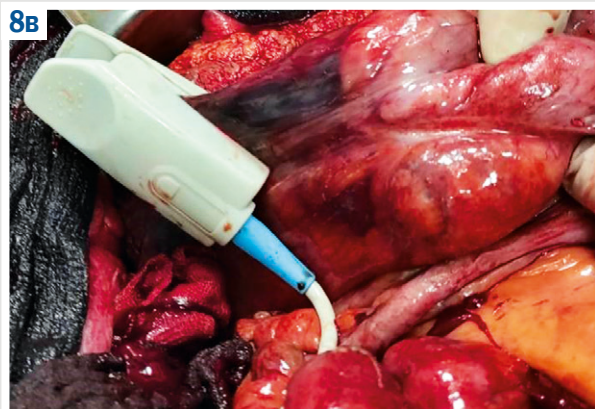
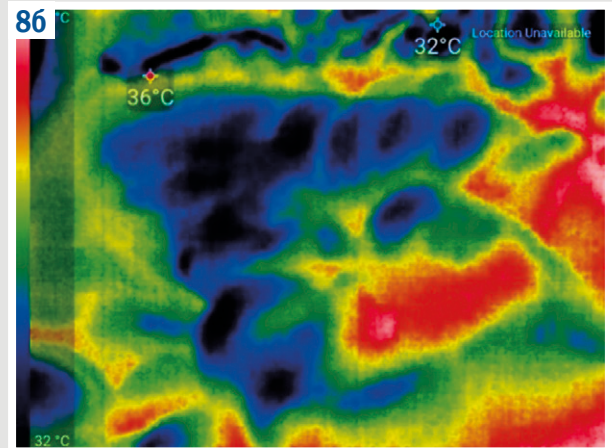


Рис. 8. Поранений О. а: загальний вигляд ушкодження сліпої та висхідної ободової кишок; б: ИТ сліпої та ободової кишок; в, г: інтраопераційна оксиметрія з застосуванням датчика Кларка.

ділянки некрозу стінки безпосередньо біля вогнепального ушкодження, кровозабезпечення інших ділянок цієї кишки задовільне ($\Delta^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{C}$), в тому числі задньої стінки в зоні напроти поранення (брижовий край). Це дало змогу обмежити обсяг хірургічного втручання економним висіченням некротичних тканин, сформували анастомоз у 3/4 за О. Мельниковим (рис. 8а, б).

У цього самого пораненого під час інтраопераційної ИТ сигмоподібної кишки в ділянці її поранення

зафіксовано задовільне кровопостачання стінки кишки ($\Delta^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}$). Це дало підстави обмежити характер хірургічного втручання формуванням анастомозу в 3/4 за О. Мельниковим (рис. 7а, б).

Клінічний випадок 6. Поранений О. Діагноз: вогнепальне осколкове поранення поперекової ділянки справа з заочеревинним ушкодженням сліпої та висхідної ободової кишок. Під час лапаротомії виявлено заочеревинне ушкодження сліпої та висхідної ободової кишок.

Виконали ІЧТ, що виявила зниження температурного градієнта ($\Delta^{\circ}\text{C} = 4^{\circ}\text{C}$). Це свідчило про порушення мікроциркуляції в стінці сліпої та висхідної ободової кишок (рис. 8а, б). Додатково з діагностичною метою використали альтернативний метод – інтраопераційну оксиметрію з застосуванням датчика Кларка (рис. 8в, г). У результаті виявили недостатню оксигенацію стінки кишки (92 %); це свідчило про проблеми з мікроциркуляцією. Відповідно до результатів обстеження виконали правобічну геміколектомію з формуванням ілеотрансверзоанастомозу. У післяопераційному періоді ускладнення не виявлені.

Обговорення

Наведені клінічні спостереження довели високу ефективність інтраопераційного застосування методу ІЧТ у діагностиці життєздатності тканин паренхіматозних і порожнистих органів при вогнепальних пораненнях живота. Це суттєво доповнює оцінювання тканин *ad oculus* та дає змогу хірургові ухвалювати більш обґрунтовані тактичні рішення щодо обсягу втручання.

Під час оцінювання результатів дослідження керувались різницею між максимальним значенням температури тканин із хорошим кровопостачанням, що не викликали сумніву щодо життєздатності та взяті як еталон, та показниками температури у ділянках тканин сумнівної життєздатності. Різницю температур між ділянками з максимальними показниками (хороше кровопостачання) та зоною ушкодження в межах $<4^{\circ}\text{C}$ визначили як зону достатньої перфузії тканин, різницю від 4°C до 8°C – як зону з сумнівною перфузією (зона контузії), різницю $>8^{\circ}\text{C}$ – як зону з вираженим порушенням перфузії (зона некрозу), що потребує виконання адекватної хірургічної обробки тканин.

Висновки

1. Досвід застосування ІЧТ на другому рівні медичного забезпечення бойових дій довів її ефективність як простого, швидкого й неінвазивного методу визначення життєздатності тканин органів черевної порожнини та м'яких тканин черевної стінки.

2. Інтраопераційна ІЧТ дає змогу визначити межу некротизованих тканин паренхіматозних органів та оптимізувати хірургічну тактику.

3. Виконання інтраопераційної ІЧТ при вогнепальних пораненнях порожнистих органів дає змогу чітко визначити стан кровопостачання їхніх стінок і життєздатність, а отже оптимізує характер хірургічного втручання.

4. Різницю температур у ділянках із хорошим кровопостачанням (максимальною температурою) та зоною ушкодження в межах $<4^{\circ}\text{C}$ визначили як зону достатньої перфузії тканин, $4-8^{\circ}\text{C}$ – як зону з сумнівною перфузією (зона контузії), $>8^{\circ}\text{C}$ – як зону з вираженим порушенням перфузії (зона некрозу), що потребує виконання адекватної хірургічної обробки м'яких тканин або резекції порожнистих і паренхіматозних органів.

Перспективи подальших досліджень полягають у продовженні вивчення ефективності застосування ІЧТ під час діагностики життєздатності тканин ушкоджених порожнистих і паренхіматозних органів при бойовій хірургічній травмі живота.

Фінансування

Дослідження здійснене в рамках НДР Української військово-медичної академії «Розроблення та удосконалення сучасних медичних технологій діагностики та лікування бойової хірургічної травми», держреєстрація № 0123U102822 (04.2023–12.2023).

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: author has no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 16.02.2024

Після доопрацювання / Revised: 01.03.2024

Схвалено до друку / Accepted: 11.03.2024

Відомості про автора:

Собко І. В., полковник медичної служби, канд. мед. наук, доцент каф. військової хірургії, Українська військово-медична академія, м. Київ.

ORCID ID: 0009-0003-9177-0237

Information about the author:

Sobko I. V., Colonel of Medical Service, MD, PhD, Associate Professor of Military Surgery Department of Ukrainian Military Medical Academy, Kyiv, Ukraine.

References

1. Aslanyan SA, Belyi VY, Zarutskii YL. Ocherki khirurgii boevoi travmy zhivota [Essays on the surgery of combat abdominal trauma]. Kiev: Izdatel'stvo Lyudmila; 2021. Russian. Available from: <https://library.gov.ua/emed/viyskova-medytyna/ocherky-khirurgii-boevoj-travm-zhyvota-2>
2. Stavorovsky KM. [Automatic diagnostic and analysis of thermal images in medical practice]. Biomeditsynskiye ustroystva i sistemy. 2014;1(78):47-55. Russian. Available from: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/10068/3/7>
3. Muraviov OV, Petryk VF, Lysenko II, Bohdan HA, Nakonechna AV. [Automatization of thermographic diagnostic method of human body pathologies]. Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences. 2022;1:47-53. Ukrainian. doi: 10.32851/tnv-tech.2022.1.5
4. Bekhtir OV, Sizov FF, Cheshuk VE, Kravchenko OV, Nosko MM, Lipkevich OV. [The processing and analysis of the thermal images in the medicine]. Visnyk NTUU "KPI". Seriya Pryladobuduvannia. 2003;26:138-44. Ukrainian. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/47230532.pdf>
5. Venger YF, Gordienko VI, Dunaevskiy VI, Kotovskiy VI, Maslov VP. [Application of Thermography in Ukraine]. Nauka ta innovatsii. 2015;1(6):5-15. Ukrainian. doi: 10.15407/scin11.06.005
6. Rozenfeld LG, Samokhin AV, Venger EF, Loboda TV, Kolotilov NN, Kolyukh AG, et al. [Remote infra-red thermography as modern non-invasive method of diseases diagnostics]. Ukrayinskyi medychnyi chasopys. 2008;6(68):92-7. Russian. Available from: https://api.umj.com.ua/wp/wp-content/uploads/archive/68/pdf/1366_rus.pdf
7. Kesztlyus D, Brucher S, Wilson C, Kesztlyus T. Use of Infrared Thermography in Medical Diagnosis, Screening, and Disease Monitoring: A Scoping Review. Medicina (Kaunas). 2023;59(12):2139. doi: 10.3390/medicina59122139
8. Ostafiychuk DI, Shaiko-Shaikovsky OH, Bilov MY, Chibotaru KI. [Thermography, application in medicine]. Klinichna ta eksperymentalna patolohiia. 2019;1(67):126-31. Ukrainian. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kep_2019_18_1_23
9. Kaczmarek M, Nowakowski A. Active dynamic thermography in medical diagnostics. In: Ng E, Etehadtavakol M, (editors). Application of Infrared to Biomedical Sciences. Series in BioEngineering. Singapore: Springer; 2017. p. 291-310. doi: 10.1007/978-981-10-3147-2_17
10. Khomenko IP, Tsema YV, Shapovalov VY, Tertyshnyi SV, Grinchuk MM. [Diagnosis with spectral infrared thermography in the treatment of gunshot wound of soft tissue]. Intehratyvna antropolohiia. 2018;2(32):43-7. Ukrainian. Available from: <https://repo.odmu.edu.ua:443/xmliui/handle/123456789/10299>
11. Ramirez-GarciaLuna JL, Bartlett R, Arriaga-Caballero JE, Fraser RD, Saiko G. Infrared Thermography in Wound Care, Surgery, and Sports Medicine: A Review. Front Physiol. 2022;13:838528. doi: 10.3389/fphys.2022.838528