LECZENIE RAN 2018;15(2):61–70
© Evereth Publishing, 2018

PRACA POGLĄDOWA

! *Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.*

JUSTYNA CWAJDA-BIAŁASIK[1, 2] | PAULINA MOŚCICKA[1, 2] | MARIA T. SZEWCZYK[1, 2] | ARKADIUSZ JAWIEŃ[3] | ANNA KARPIŃSKA[4] | SARA ROSSA[1, 2]

NOWOCZESNE METODY OCENY DYNAMIKI GOJENIA RAN PRZEWLEKŁYCH – TERMOGRAFIA MEDYCZNA

MODERN METHODS OF THE ASSESSMENT OF CHRONIC WOUND HEALING DYNAMICS – MEDICAL THERMOGRAPHY

STRESZCZENIE: We współczesnej medycynie coraz większe znaczenie mają nowoczesne i nieinwazyjne metody diagnostyki obrazowej. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania technikami opierającymi się na pomiarze temperatury ciała i jej rozkładu na powierzchni skóry. W procesie gojenia ran następują po sobie kolejno fazy: wysiękowa, proliferacyjna oraz przebudowy i bliznowacenia. Charakteryzuje je zmienna dynamika procesów naczyniowych i zapalnych. Procesy te nie zawsze manifestują się zewnętrznie i mogą być trudne do oceny wizualnej, np. za pomocą planimetrii. Ich natężenie wpływa jednak na emisję podczerwieni i może być obserwowane w obrazie termograficznym. W pracy omówiono wybrane metody pomiaru rany, m.in.: planimetrię, fotografię cyfrową i obrazowanie 3D. Zaprezentowano także możliwości zastosowania termografii w podczerwieni w diagnostyce medycznej procesu gojenia ran przewlekłych.

SŁOWA KLUCZOWE: planimetria, rany przewlekłe, termografia

ABSTRACT: In modern medicine, advanced and noninvasive methods of medical imaging are increasingly becoming popular. In recent years, an increased interest in methods based on body temperature measurement and temperature of certain regions of the skin is observed. The process of wound healing consists of the following stages: exudative, proliferative, reconstruction and cicatrization. They are characterized by floating dynamics of vascular and inflammatory processes. The above-mentioned processes do not always manifest themselves externally and can be difficult on visual assessment, e.g. with the help of planimetry. However, their intensity influences the emission of infrared radiation and might be observed in thermographic images. In this work, selected methods of wound measurement were discussed, inter alia, planimetry, digital photography and 3D imaging. The possibilities of infrared thermography use in diagnostics of the healing process were also discussed.

KEY WORDS: chronic wounds, planimetry, thermography

1 Zakład Pielęgniarstwa Chirurgicznego i Leczenia Ran Przewlekłych Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy Uniwersytetu M. Kopernika w Toruniu
2 Poradnia Leczenia Ran Przewlekłych Kliniki Chirurgii Naczyniowej i Angiologii Szpitala Uniwersyteckiego nr 1 im. dr. A. Jurasza w Bydgoszczy
3 Katedra i Klinika Chirurgii Naczyniowej i Angiologii Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy Uniwersytetu M. Kopernika w Toruniu
4 Interdyscyplinarne Koło Naukowe Geriatrii, Katedra i Klinika Geriatrii Collegium Medicum w Bydgoszczy Uniwersytetu M. Kopernika w Toruniu

JUSTYNA CWAJDA-BIAŁASIK
Zakład Pielęgniarstwa Chirurgicznego i Leczenia Ran Przewlekłych, Collegium Medicum Uniwersytetu M. Kopernika w Toruniu, ul. Łukasiewicza 1, 85-821 Bydgoszcz, Tel.: 52 585 58 03, e-mail: jcwajda@wp.pl

Wpłynęło: 04.04.2018
Zaakceptowano: 22.04.2018
DOI: dx.doi.org/10.15374/LR2018008

WSTĘP

Proces gojenia się rany ma charakter dynamiczny, a jego przebieg i efekt końcowy zależą od wielu czynników. Rozpoczynając terapię, dokonuje się wnikliwej oceny chorego, obejmującej diagnostykę przyczyn i etiologii rany oraz identyfikację czynników miejscowych. Rany przewlekłe, które charakteryzują się długotrwałym przebiegiem gojenia (powyżej 6 tygodni), wymagają także oceny bieżącej. Pozwala to ocenić postępy i skuteczność terapii lub w razie potrzeby zmodyfikować działania. Obiektywnym wyznacznikiem dynamiki gojenia rany jest jej systematyczny pomiar i porównanie serii wyników wykonanych w określonych odstępach czasu. Badania konsekwentnie wykazały, że zarówno powierzchnia wyjściowa, jak i zmiany powierzchni owrzodzenia w czasie są ważnym czynnikiem prognostycznym i korelują z wynikiem leczenia [1–4].

© Evereth Publishing, 2018

Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

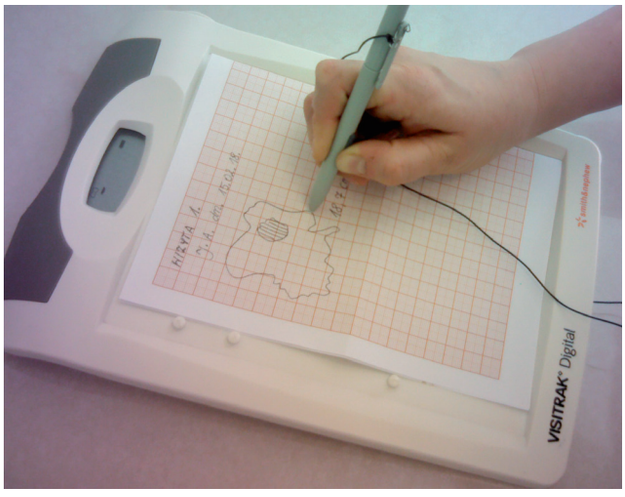
PLANIMETRIA

W odniesieniu do owrzodzeń żylnych wykazano, że rany o większej powierzchni goją się szybciej (nawet około 1 cm na dobę), a te o mniejszej – wolniej (około 1 cm na miesiąc), mają jednak większe szanse na pełne wygojenie. Zazwyczaj gojenie początkowych 75% powierzchni rany trwa tyle samo czasu, ile gojenie pozostałych 25% [3, 5]. Dobrze rokują szczególnie zmiany, których powierzchnia zmniejsza się przynajmniej o 30% w ciągu pierwszych 2–4 tygodni leczenia [5–8]. W praktyce klinicznej wykorzystuje się różne metody i urządzenia pomiarowe do oceny rany. Najprostsza z nich obejmuje wyznaczenie za pomocą linijki dwóch wymiarów, tj. maksymalnej długości i prostopadłej do niej szerokości ubytku. W najnowszych metodach wykorzystuje się inteligentne urządzenia (np. aparaty cyfrowe, programy komputerowe do obróbki zdjęć, laser) lub techniki z użyciem światła ustrukturyzowanego do przetwarzania obrazu 3D [1, 7]. Są to wysoko zaawansowane techniki planimetrii bezdotykowej (ang. non-contact planimetry), charakteryzujące się wysoką wiarygodnością i dokładnością pomiaru. Nie wymagają bezpośredniego kontaktu z raną, co zmniejsza ryzyko kontaminacji i uszkodzenia tkanek. Pozwalają na obliczenie bezwzględnej wartości pola powierzchni, a także na oszacowanie procentowego udziału poszczególnych tkanek (np. naskórka, ziarniny, włóknika, martwicy) w łożysku rany. Technika 3D uzupełnia pomiar o objętość ubytku i daje możliwość trójwymiarowej obserwacji zmian zachodzących w dnie rany. Jest to szczególnie ważne w przypadku ran głębokich, w których najpierw następuje wypełnienie ubytku ziarniną, a dopiero potem pokrycie jej naskórkiem. Wadą nowoczesnych urządzeń może być cena. Jednak nie wszystkie metody są drogie i trudno dostępne. Czasem sam pomiar może wydawać się trudny – zwłaszcza, gdy wymaga odpowiedniego ustawienia urządzeń, utrzymania stałej odległości lub kąta nachylenia aparatu w stosunku do mierzonej powierzchni [7]. Sprawia to, że nowoczesne techniki stosowane są głównie w badaniach naukowych. W praktyce klinicznej częściej wykorzystuje się tradycyjną planimetrię dotykową (kontaktową), która jest tańsza i łatwiej dostępna. Polega na pokryciu rany przezroczystym arkuszem folii (z naniesioną siatką milimetrową/centymetrową) i obrysowaniu niezmywalnym markerem brzegów rany. W przypadku braku gotowych szablonów, rysunek z folii odwzorowuje się na papierze milimetrowym, a pole powierzchni oblicza „ręcznie", zliczając liczbę kwadratów w obrysie (z dokładnością nie mniejszą niż 0,5 cm^2). Obliczenia można również przeprowadzić za pomocą specjalnego aparatu, np. VisiTrak™, który automatycznie oblicza wymiary rany: długość, szerokość, obwód i pole powierzchni. Dokładność pomiaru elektronicznego jest wysoka, wynosi około 94% i jest porównywalna z wynikiem uzyskanym metodą cyfrową [7, 9].

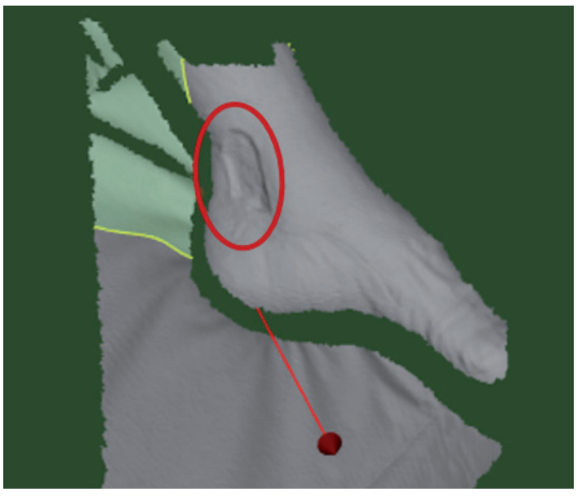
Dotychczasowe wytyczne nie określają, która z metod oceny powierzchni ran jest najlepsza. Zaleca się jednak systematyczne monitorowanie postępów gojenia i wykonywanie pomiaru pola powierzchni oraz głębokości rany nie rzadziej niż co 1–2 tygodnie oraz systematyczną weryfikację skuteczności terapii (Tabela 1, Ryc. 1, 2) [8, 10–12].

MONITOROWANIE TEMPERATURY

W przebiegu ran przewlekłych obserwuje się wiele specyficznych czynników zaburzających gojenie, m.in.: przewlekły stan zapalny, zaburzenia perfuzji, uszkodzenie okolicznych i głębokich tkanek. Patologie te nie zawsze manifestują się zewnętrznie i mogą być trudne do oceny wizualnej. Nie zawsze też ich natężenie koreluje z obrazem planimetrii. Poszukuje się dodatkowych metod i narzędzi pomiarowych, które w prosty, ale jednocześnie niezawodny



Ryc. 1. Pomiar powierzchni rany metodą planimetrii z wykorzystaniem aparatu VisiTrak™.



Ryc. 2. Owrzodzenie żylne goleni zlokalizowane przyśrodkowo – obraz 3D.

© Evereth Publishing, 2018

! *Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.*

Tabela 1. Charakterystyka wybranych metod oceny powierzchni rany.

Metoda	Opis	Zalety	Wady
Pomiar linijką	Pomiar „ręczny" z użyciem jednorazowej (najczęściej papierowej) linijki, mierzy się największe wymiary rany – długość i prostopadłą do niej szerokość	Prosta, nie wymaga użycia specjalistycznego sprzętu	Trudności w pomiarze na nierównej powierzchni lub w przypadku ran okrężnych. Brzegi ran zwykle są nierówne, dlatego pomiar może być niedokładny. Nie nadaje się do pomiaru pola powierzchni rany (błędy w obliczeniach rzędu 44%)
Planimetria dotykowa	Pomiar „ręczny" – ranę pokrywa się przezroczystym arkuszem materiału, np. folii (jałowej od strony rany!) i obrysowuje niezmywalnym markerem brzegi rany. Następnie rysunek należy odwzorować na papierze milimetrowym i obliczyć pole powierzchni przez zliczenie liczby kwadratów w obrysie	Tania, łatwo dostępna, nie wymaga użycia specjalistycznego sprzętu	Kontakt z raną zwiększa ryzyko kontaminacji i/lub urazu powierzchni rany. W ranach z dużą ilością martwicy/wysięku istnieje trudność związana z przesuwaniem się folii podczas wykonywania rysunku. Może być czasochłonna. W przypadku braku gotowych szablonów z siatką milimetrową i ręcznym zliczaniu kwadratów w obrysie istnieje ryzyko popełnienia błędu – aby uzyskać najbardziej wiarygodny wynik zaleca się 3-krotne powtórzenie całej procedury i uśrednienie uzyskanego wyniku
Planimetria dotykowa	Pomiar elektroniczny – wymaga ręcznego naniesienia obrysu rany (najczęściej z użyciem specjalnej, wielowarstwowej folii wielkością dopasowanej do możliwości aparatu – warstwa kontaktowa jest jałowa, usuwa się ją po wykonaniu obrysu rany, natomiast warstwa zewnętrzna posiada siatkę milimetrową, którą przykłada się do urządzenia pomiarowego). Aparat (np. VisiTrak™) liczy automatycznie pole powierzchni obrysu rany	Szybka i dokładna metoda zliczania wymiarów rany (m.in.: długość i szerokość maksymalną, obwód brzegów, pole powierzchni). W badaniach duża dokładność pomiaru (94%)	Wymaga użycia specjalistycznego sprzętu do automatycznego obliczenia wymiarów rany. Według niektórych źródeł, wiarygodność pomiaru zmniejsza się wraz ze zmniejszeniem rozmiarów rany
Planimetria bezdotykowa	Różne możliwości, np.: • trójwymiarowy pomiar przy pomocy lasera z komputerową planimetrią fotografii; • wykorzystanie fotografii cyfrowej i oprogramowania komputerowego do planimetrii	Brak bezpośredniego kontaktu z raną zmniejsza ryzyko kontaminacji i uszkodzenia tkanek. Większość metod charakteryzuje się dużą dokładnością pomiaru >90%. Obliczenia i notatki wykonane przy użyciu technologii cyfrowej i informatycznej pozwalają na łatwe przetwarzanie i wygodne przechowywanie danych	Wymaga użycia specjalistycznego sprzętu oraz utrzymania stałej odległości i kąta nachylenia aparatu dla wszystkich zdjęć. W niektórych metodach istnieje konieczność odwzorowania płaszczyzny z przestrzeni trójwymiarowej na obraz dwuwymiarowy; ryzyko błędu związanego z aberracją geometryczną układów optycznych zastosowanych urządzeń (mniejsza dokładność i trudność w pomiarze w przypadku owrzodzeń okrężnych lub na zakrzywionej powierzchni kończyny)
Technika 3D	Przy pomocy skanera 3D wykonuje się zdjęcie trójwymiarowe ubytku. Wymiary rany (powierzchnia, głębokość i objętość ubytku) zlicza się komputerowo przy użyciu specjalistycznych programów	Dokładna, pozwala obliczyć nie tylko wymiary powierzchni płaskiej, lecz także oszacować objętość ubytku	Sprzęt do wykonywania zdjęć w projekcji 3D jest drogi, metoda trudno dostępna, wymaga specjalistycznych umiejętności

sposób odzwierciedlą procesy „wewnętrzne", tj. te zachodzące w otoczeniu rany, pod skórą i w tkankach głębokich. Szczególnie korzystne byłoby monitorowanie stanu zapalnego i jego dynamiki. Już w starożytności zauważono, że zewnętrznym przejawem zapalenia są nietypowe rozkłady i zmiany temperatury na ciele człowieka. Dlatego pomiar tego parametru traktowano jako ważną wskazówkę diagnostyczną. Hipokrates twierdził, że jeżeli jedna część ciała ludzkiego jest cieplejsza lub zimniejsza niż reszta, to jest ona dotknięta chorobą. W celu oceny rozkładu temperatury ciała skórę chorego pokrywano wilgotną gliną. W trakcie wysychania glina zmieniała barwę i dawała obraz rozkładu temperatury: wskazywała obszary suche – cieplejsze i wilgotne – chłodniejsze. Egipcjanie z kolei specjalizowali się w badaniu podwyższonej temperatury ciała i stanu zapalnego w okolicy rany za pomocą dotyku [13–16]. W ten sposób można łatwo wykryć zwłaszcza ostry stan zapalny, ale subtelne różnice temperatur prezentowane na powierzchni ciała wymagają użycia specjalnych metod i urządzeń rejestrujących. Pierwsze termometry (np. rtęciowy, ciekłokrystaliczny) były

© Evereth Publishing, 2018

Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

bardzo proste i w warunkach klinicznych bazowały na pomiarze maksymalnej wartości w dość wąskim zakresie temperatury ciała, tj. blisko 37°C [13, 14]. Temperaturę mierzono „dotykowo", zwykle w zagłębieniu, np.: jamie ustnej, odbycie, pod pachą, gdzie pomiar w przybliżeniu odpowiadał głębokiej temperaturze ciała. Służył głównie do wykrywania gorączki. W latach 50. XX wieku w medycynie zaczęto stosować termografię – technikę pomiaru temperatury opartą na rejestracji fal elektromagnetycznych. Są one emitowane przez wszystkie ciała fizyczne o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego, ale dla ludzkiego oka pozostają niewidzialne. Promieniowanie elektromagnetyczne odkrył w 1800 roku astronom Friedrich William Herschel. Mierzył on za pomocą termometrów ilość energii cieplnej przenoszonej przez promieniowanie słoneczne w różnych pasmach światła widzialnego rozszczepionego w pryzmacie (od fioletowego do czerwonego). Zaobserwował, że najwyższe wskazania dostarczane były przez termometry ustawione na nieoświetlonym polu, tj. tuż za czerwonym krańcem widma słonecznego. To doświadczenie pokazało, że istnieje niewidzialne dla ludzkiego oka promieniowanie podczerwone, które transmituje ciepło w postaci niewidocznej fali świetlnej [1, 2, 13–16]. Długość tej fali mieści się w zakresie od 780 nm do 1 mm, tj. pomiędzy światłem widzialnym a falami radiowymi. W przyrodzie tylko niektóre zwierzęta posiadają narządy odbierające podczerwień, np. węże, które rejestrują ciepło emitowane przez swoje ofiary [17].

Nowoczesne techniki termowizyjne umożliwiają rejestrację obrazów, polegającą na detekcji i wizualizacji promieniowania podczerwonego wytwarzanego przez obiekty fizyczne. Po zamianie na obraz widzialny, np. cyfrowy, powstaje tzw. termogram, który dostarcza informacji o rozkładzie temperatur oraz ich wartościach na zewnętrznej powierzchni badanego obiektu [13–15, 18–20]. Początkowo termografię stosowano w celach militarnych (np. do termolokacji obiektów), później także w przemyśle, lotnictwie i innych. Termografia pozwala np. uwidocznić ubytki i niektóre wady budowy samolotów czy statków. Jest wykorzystywana do określania miejsc potencjalnych ognisk pożarów w lasach. W budownictwie termografię wykorzystuje się do analizy stanu izolacji termicznej, lokalizacji miejsc przepływu powietrza i zawilgocenia budynków mieszkalnych [17–20].

TERMOGRAFIA MEDYCZNA

Pomiary termowizyjnie w medycynie zainicjował w 1956 roku kanadyjski lekarz Ray Lawson. Prowadził on diagnostykę termowizyjną chorób piersi u kobiet. Pierwsze badania dawały dość obiecujące wyniki. Wykazały, że temperatura chorego obszaru jest zwykle wyższa od temperatury obszaru położonego symetrycznie o około 1–2°C. Sugerowano, że termogramy mogą być czułym testem wykrywającym nawet mniejsze zmiany nowotworowe niż badania obrazowe [13, 14, 21–23]. Termografia nie została jednak zatwierdzona jako badanie przesiewowe w wykrywaniu wczesnych postaci raka piersi, m.in. z powodu wątpliwości metodologicznych i jakości sprzętu używanego podczas pierwszych badań [18, 23]. Podkreślono też, że termografia nie jest badaniem anatomicznym (tak jak mammografia czy ultrasonografia),

Tabela 2. Przykłady zastosowania termografii w różnych obszarach medycyny.

Obszar medycyny	Przykład zastosowania
Onkologia	Jest to najstarsze historycznie medyczne zastosowanie termografii medycznej. Proponowano zastosowanie termografii do diagnostyki przesiewowej chorób piersi (np. obrazowanie cieplejszych obszarów wskazujących na angiogenezę nowotworową lub stan zapalny), ale z powodu braku referencyjnego zakresu temperatur dla piersi nie zatwierdzono metody do powszechnego użytku
Laryngologia	• ocena zmian zapalnych zatok przynosowych; • ocena stanów zapalnych jamy ustnej
Stomatologia	• ocena stanów zapalnych jamy ustnej, przyzębia i stawów skroniowo-żuchwowych
Dermatologia	• ocena głębokości oparzeń; • ocenia zmian skórnych, diagnostyka pomocnicza nowotworów skóry
Alergologia	• jako uzupełnienie diagnostyki alergii kontaktowych, atopowego zapalenia skóry oraz standardowych testów skórnych
Angiologia	• ocena zaburzeń naczyniowych, m.in.: perfuzji obwodowej, niedokrwienia kończyn, angiopatii cukrzycowych, neuropatii w przebiegu cukrzycy, układu naczyń żylnych, zakrzepicy i innych; • ocena krążenia wieńcowego i monitorowanie pracy serca w trakcie zabiegów kardiochirurgicznych
Chirurgia	• monitorowanie procesu gojenia ran pooperacyjnych, nieinwazyjna diagnostyka zakażeń powierzchownych i głębokich miejsca operowanego
Fizykoterapia	• pomocniczo w diagnostyce źródła bólu, zmian przeciążeniowych, zwyrodnieniowych, zapalnych, oceny układu kostno-stawowego, kontuzjach sportowych itp.; • monitorowanie skuteczności, tzw. termomonitoring, stosowanych zabiegów fizykoterapeutycznych (krioterapii, ultradźwięków, akupunktury)

© Evereth Publishing, 2018

! *Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.*

ale dynamicznym, pokazującym zachowanie funkcjonalne skóry i leżącej pod nią tkanki gruczołowej [23]. Występowanie lokalnych zmian temperatury (np. miejscowy wzrost) może być też wynikiem zaburzeń występujących w innych obszarach ciała, np. przeciążenia narządu ruchu, a także odległych kontuzji, zespołów bólowych i wielu innych, co wymaga dość ostrożnej interpretacji i często wykonania termogramu całego ciała. W piśmiennictwie podkreśla się, że funkcje biologiczne piersi (m.in.: mikrokrążenie, perfuzja, aktywność naczyniowa i zapalna) są zmienne w czasie cyklu miesięcznego kobiety i zależą od wielu czynników, przede wszystkim od indywidualnego metabolizmu i temperatury otoczenia [21–23].

Dotychczas nie przyjęto międzynarodowych standaryzowanych wartości temperatury wskazujących np. na angiogenezę nowotworową albo stan zapalny i nie opracowano referencyjnego zakresu temperatur dla piersi. Autorzy podkreślają, że termografia może być stosowana do diagnostyki tylko w przypadku niektórych chorób, i to pod warunkiem, że wyniki badań opublikowane w literaturze są porównywalne, a wykorzystana metodologia wiarygodna i zgodna z ustalonymi standardami [23]. W zastosowaniach medycznych standardy badań termograficznych opierają się na biofizyce promieniowania cieplnego i termoregulacji organizmu człowieka. Organizm ludzki jest stałocieplny i niezależnie od warunków otoczenia utrzymuje względnie stałą temperaturę jam ciała – czaszki, klatki piersiowej, jamy brzusznej oraz organów wewnętrznych – w granicach 36,6°C. Temperatura podlega nieznacznym i całkowicie fizjologicznym wahaniom w cyklu dobowym (±0,6°C), zależnym m.in. od stężeń hormonów regulujących metabolizm i od napięcia układu wegetatywnego [15–17]. Z kolei powłoki ciała (skóra i kończyny), w odróżnieniu od stałocieplnego rdzenia, zachowują się poikilotermicznie i są zmiennocieplne. W dużej mierze warunkuje to stałocieplność całego organizmu [15]. Procesy termoregulacji podlegają wielokierunkowej kontroli ośrodka w podwzgórzu. W uproszczeniu, impulsy pochodzące z termoreceptorów uruchamiają mechanizmy regulacyjne. Jedne odpowiadają za „produkcję" endogennego ciepła, inne za jego gromadzenie i oddawanie. Głównym źródłem termogenezy w organizmie jest wątroba oraz mięśnie szkieletowe. Intensywność metabolizmu i związane z tym ukrwienie mają bezpośrednie przełożenie na emisję podczerwieni przez organizm. Jednak miejscowa temperatura skóry zależy od grubości tkanki tłuszczowej (bariery izolacyjnej) i mięśniowej, wpływających na transport ciepła z głębszych warstw ciała. Na emisję ciepła oddziałują również zmiany czynnościowe układu krążenia i układu oddechowego oraz aktywność gruczołów potowych [15, 17].

Pomiary termowizyjne wykonywane z użyciem nowoczesnego sprzętu są bardzo czułym narzędziem diagnostycznym, pozwalającym tworzyć tzw. mapy fizjologicznych rozkładów ciepła na powierzchni ciała lub identyfikować obszary z toczącym się procesem chorobowym. Podkreśla się, że termogramy przekazują informację wyłącznie o stanie czynnościowym (nie anatomicznym!) powierzchni ciała. Właśnie dlatego wykrywają zaburzenia związane ze zmianami temperatury lub ukrwienia, często niemożliwe do zdiagnozowania z zastosowaniem innych metod. W wybranych sytuacjach stanowi to cenne narzędzie pomocnicze, wykorzystywane np. w początkowych stadiach choroby [17].

Obecnie termografia znajduje coraz więcej zastosowań medycznych, m.in.:

- w celu zdiagnozowania chorób i zaburzeń o podłożu zapalnym lub naczyniowym;
- jako narzędzie oceniające skuteczność zastosowanej terapii (tzw. termomonitoring), np. w trakcie fizykoterapii, farmakoterapii czy leczenia operacyjnego;
- jako narzędzie prognostyczne powikłań/zaburzeń (związanych z zapaleniem lub zaburzeniami ukrwienia) (Tabela 2) [15–17, 24–36].

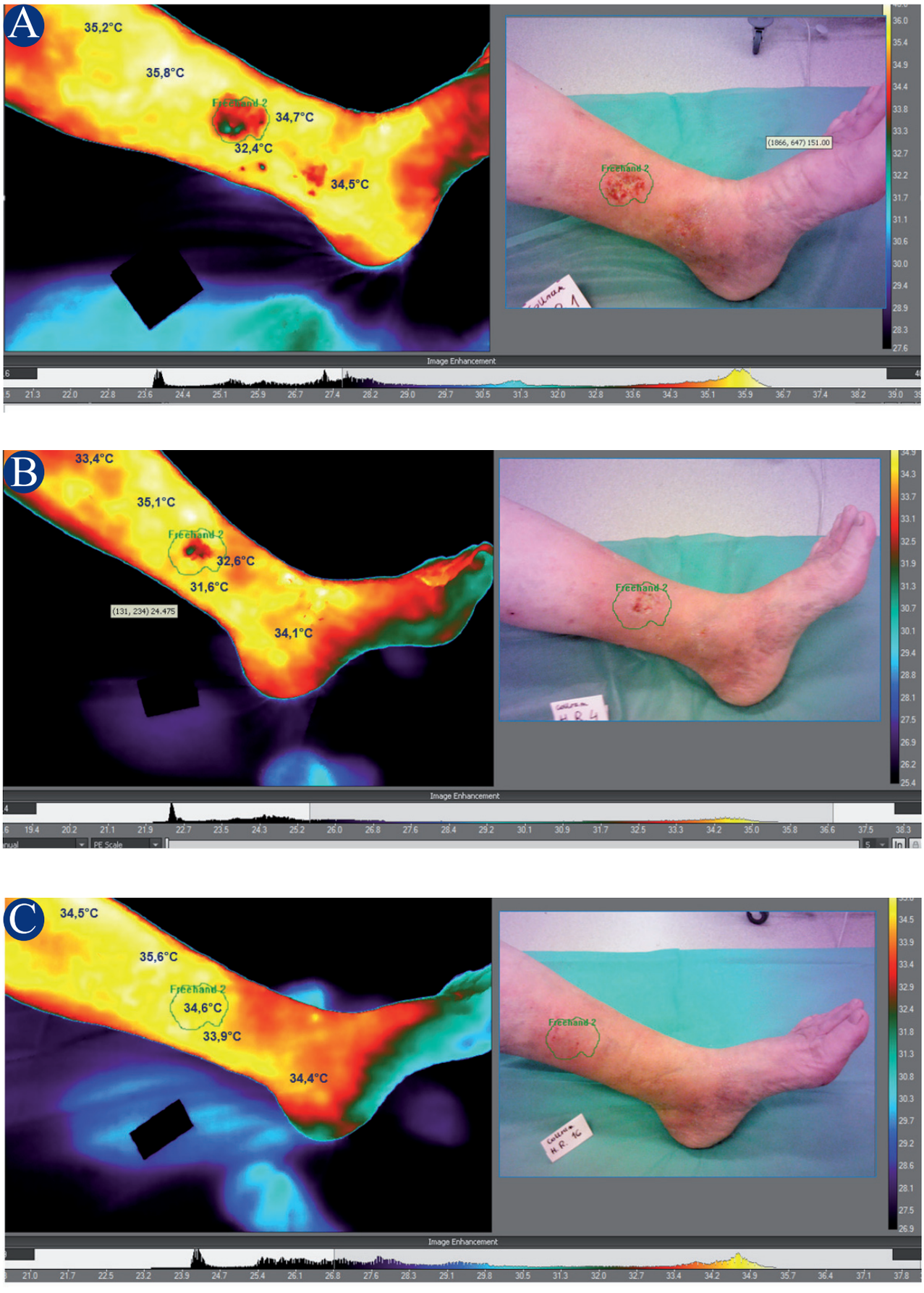
ZASTOSOWANIE TERMOGRAFII W LECZENIU RAN

W procesie powstania, rozwoju i gojenia rany zachodzą liczne procesy naczyniowe i zapalne, znajdujące odzwierciedlenie w emisji promieniowania podczerwonego. Miejsce przerwania ciągłości skóry i ubytku tkanek wykazuje wzrost perspiracji i w obrazie termograficznym widnieje jako obniżenie temperatury. Przyczyną jest duża różnica wilgotności skóry zdrowej i otwartej rany [15]. Wraz z postępem gojenia różnica temperatur się zmniejsza, a po całkowitym pokryciu ubytku naskórkiem jego temperatura zbliża się do temperatury skóry. Jeśli badania nie dotyczą bezpośrednio zmiany skórnej, można je odroczyć do czasu wygojenia rany lub pokryć jej powierzchnię jałowym materiałem, transparentnym dla promieniowania podczerwonego (np. opatrunkiem hydrożelowym lub z folii poliestrowej/poliuretanowej), w celu ograniczenia parowania i zmniejszenia utraty ciepła. Aby pomiary były miarodajne, zaleca się wykluczenie z badań termograficznych chorych z zaburzeniami dermatologicznymi, świeżymi tatuażami, bliznami pooperacyjnymi lub pourazowymi. Wyjątek stanowi sytuacja, gdy zmiany skórne lub rana stanowią główny przedmiot badania. Wówczas termogramy pobiera się bezpośrednio z badanej powierzchni, bez pokrywania jej transparentnym opatrunkiem.

W procesie gojenia rany następują po sobie kolejno fazy: wysiękowa (tj. zmiany hemostatyczne i zapalne), proliferacyjna obejmująca ziarninowanie i naskórkowanie oraz etapy przebudowy i bliznowacenia. Charakteryzuje je zmienna dynamika procesów naczyniowych i zapalnych, wpływająca na emisję podczerwieni. Wszystkie są obserwowane w obrazie termograficznym [24–27]. Szczególne znaczenie może mieć obserwacja dynamiki stanu zapalnego. Jest on naturalnym etapem gojenia ran i jeśli rozwija się po urazie, świadczy o adekwatnej odpowiedzi układu

© Evereth Publishing, 2018

! *Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.*

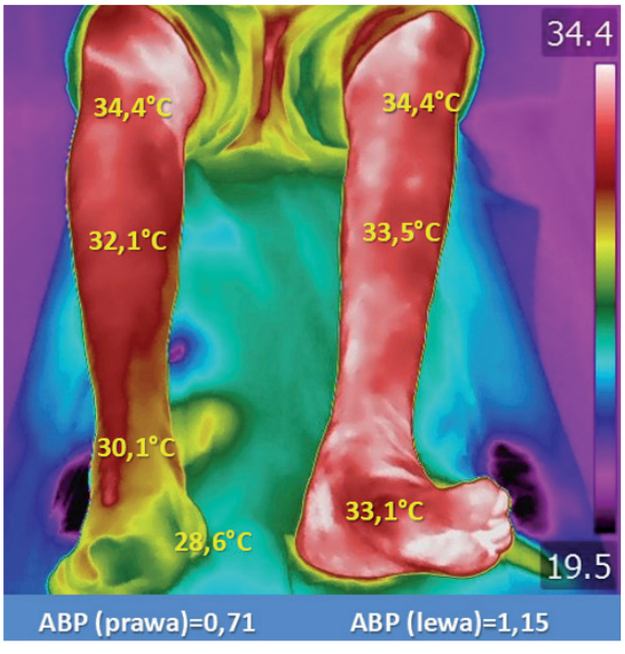


Ryc. 3. Obraz termograficzny rany przewlekłej w różnych fazach gojenia. A. Owrzodzenie żylne goleni o początkowej powierzchni rany 8,25 cm^2. B. Owrzodzenie żylne po 4 tygodniach terapii, powierzchnia 4,25 cm^2. C. Owrzodzenie żylne wygojone – stan po 8 tygodniach terapii.

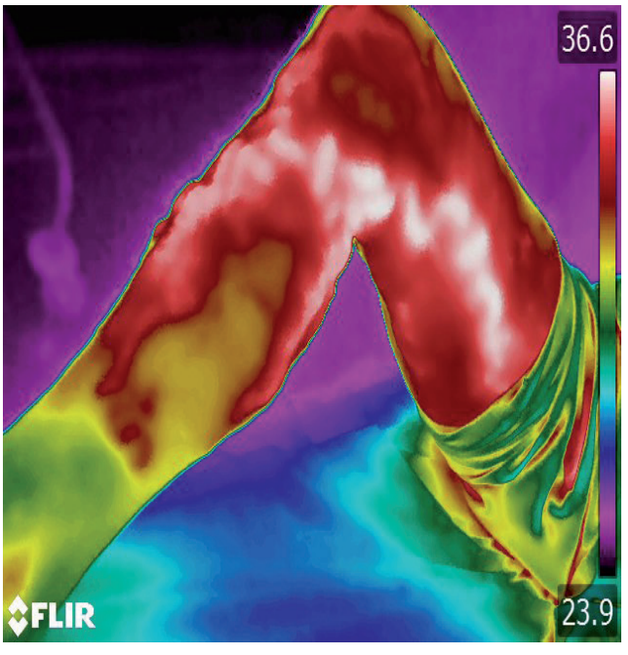
© Evereth Publishing, 2018

Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

immunologicznego. Przygotowuje ranę do procesów proliferacji. Jeśli jednak zwiększa swoje natężenie i/lub utrzymuje się w czasie, może dowodzić istnienia patologii, np. rozwijającej się infekcji. Wykazano, że maksymalna różnica temperatur między raną a zdrową skórą zmienia się w zależności od przebiegu gojenia. Najwyższe różnice dotyczą ran zakażonych z dodatnim wynikiem badania mikrobiologicznego (maksymalnie 4–5°C), mniejsze ran wykazujących kliniczne objawy zapalenia, ale bez infekcji (maksymalnie 1,5–2,2°C), a najmniejsze – ran gojących się bez powikłań (maksymalnie 1,1–1,2°C) [24]. W innym badaniu wykazano, że termografia rejestruje zmiany temperatury związane z zapaleniem i zakażeniem tkanek głębokich, np. po zabiegu operacyjnym endoprotezoplastyki stawu kolanowego. Średnia różnica temperatur kolana zdrowego (bez infekcji) i chorego (zakażonego) wynosiła odpowiednio 1,92±1,20°C *vs.* 0,32±0,73°C dla wartości maksymalnych temperatury (ang. hottest spots) oraz 2,17±1,47°C *vs.* 0,58±0,48°C dla wartości średnich temperatury z obszaru miejsca operowanego (ang. surgical site areas). Autorzy wskazali na wysokie właściwości predykcyjne termografii w wykrywaniu zakażenia miejsca operowanego (ZMO), w tym na jej dokładność, czułość, swoistość oraz dodatnią i ujemną wartość predykcyjną, wynoszące odpowiednio: 0,90; 0,89; 0,91; 0,91; 0,88. Podkreślili, że termografia – jako metoda powtarzalna, nieinwazyjna i niebolesna – może być z powodzeniem wykorzystywana do monitorowania efektów terapii i wczesnej identyfikacji powikłań septycznych u chorych po zabiegach ortopedycznych [25]. W innym badaniu wykazano, że rany pooperacyjne gojące się pierwotnie charakteryzują się typową dynamiką emisji ciepła [26]. W pierwszych trzech dobach pooperacyjnych obserwowano nieznaczny wzrost temperatury w obszarze wokół rany, a następnie do 8. doby włącznie stopniowy spadek, aż do wyrównania z temperaturą skóry. Nieznaczny wzrost temperatury obserwowano także w pierwszej dobie po usunięciu szwów z rany pooperacyjnej (w cytowanym badaniu była to 7–8. doba), zmiany dotyczyły tylko wąskiej strefy wokół brzegów rany. Utrzymywanie się szerszej strefy podwyższonej temperatury dłużej niż 4 doby po zabiegu wiązało się z ryzykiem zakażenia rany i/lub występowaniem zaburzeń gojenia [26]. Znamienną statystycznie zależność pomiędzy podwyższoną temperaturą skóry wokół rany i zakażeniem wykazano również w przebiegu przewlekłych owrzodzeń kończyn dolnych. W ranach zainfekowanych średnia różnica pomiędzy skórą wokół rany a równoważnym przeciwległym punktem kontrolnym wynosiła >2° Fahrenheita (średnio 4,43±2,44°F), podczas gdy w ranach bez infekcji różnica ta była mniejsza, tj. <2°F (średnio 0,28±0,89°F) [27]. Uzyskane wyniki potwierdzają, że termografia może stanowić narzędzie pomocnicze w szybkiej diagnostyce zakażenia rany, zarówno w przypadku zakażeń tkanek powierzchownych, jak i głębokich. Jak donoszą niektórzy autorzy, termografia może identyfikować zaburzenia już na etapie kolonizacji krytycznej, tj. przed wystąpieniem innych objawów klinicznych zakażenia [28]. Szybka diagnoza i wdrożenie terapii (jeszcze przed rozwojem klinicznie jawnej infekcji i przed uzyskaniem wyników badań mikrobiologicznych) może zapobiec dalszemu uszkodzeniu tkanek i zwiększyć potencjał gojenia (Ryc. 3–5) [27–29].



Ryc. 4. Obraz termograficzny kończyn dolnych o różnych wartościach wskaźnika kostka-ramię. Kończyna dolna prawa ABI=0,71, kończyna dolna lewa ABI=1,15.



Ryc. 5. Obraz termograficzny żylaków kończyny dolnej.

© Evereth Publishing, 2018

Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

W badaniu Taradaja i wsp. termografię wykorzystano jako narzędzie do pomiaru efektów hemodynamicznych terapii zastosowanych w przebiegu owrzodzeń żylnych [30]. Analizowano temperaturę powierzchni rany i jej zmiany w czasie pod wpływem różnych bodźców fizycznych, w tym: elektrostymulacji wysokonapięciowej, laseroterapii, terapii ultradźwiękowej i terapii kompresyjnej. Mierzono średnie i maksymalne temperatury przed i po każdej fizycznej procedurze w odstępach 5, 10, 15 i 30 minut. Najwyraźniejszy wynik termiczny (wzrost temperatury utrzymujący się w czasie), wskazujący na poprawę mikrokrążenia, wykazano w przypadku kompresjoterapii. Autorzy podają, że taki właśnie efekt hemodynamiczny jest jednym z ważniejszych biofizycznych mechanizmów gojenia owrzodzeń żylnych. Termografia z kolei jest prostym i bardzo przydatnym narzędziem służącym do oceny efektów hemodynamicznych w czasie terapii [30].

Rany przewlekłe najczęściej posiadają etiologię naczyniową i powstają na podłożu miejscowych zaburzeń troficznych. Wykazano, że termografia w podczerwieni może być pomocna w wykrywaniu obszarów potencjalnego uszkodzenia tkanek, zanim dojdzie do przerwania ciągłości skóry i rozwoju rany, np. odleżyny [28, 31–33]. W jednym z badań wieloośrodkowych obserwowano, że temperatura skóry oceniana za pomocą termografii może pomóc w przewidzeniu rozwoju martwicy w miejscu narażonym na ucisk. Oceniano temperaturę nieuszkodzonej, ale zaczerwienionej skóry – blednącej i niebledniącej pod uciskiem. W analizie wieloczynnikowej większe ryzyko rozwoju martwicy w obszarze zaczerwienienia dotyczyło tych miejsc, w których temperatura była niższa w porównaniu z otaczającą skórą (niż miejsc, których temperatura była wyższa od otaczającej skóry). Ryzyko powstania odleżyny występowało do 7. dnia włącznie (OR – 18,8; p=0,05; CI: 104–32,444) [31]. Podobne wnioski wyciągnięto w odniesieniu do prognozowania zaburzeń w procesie gojenia odleżyn. Wykazano, że niższa temperatura na brzegach rany w porównaniu z temperaturą samej rany i otaczającej skóry jest złym czynnikiem rokowniczym i może świadczyć o pogorszeniu się stanu odleżyny w przeciągu tygodnia. Względne ryzyko pogorszenia związane z niższą temperaturą brzegów wynosiło OR – 4,00 (95% CI: 1,08–14,7). Natomiast czułość, swoistość, dodatnia i ujemna wartość predykcyjna wynosiły odpowiednio 0,80; 0,75; 0,73 i 0,81 [32]. Wskazywano również, że wyższa temperatura w łożysku samej rany i dodatkowo niejednorodna struktura tkanek w obrazie USG wiążą się z nawet z sześciokrotnie większym ryzykiem opóźnionego gojenia lub pogorszenia stanu odleżyny. Autorzy podkreślili, że wzrost temperatury w środku rany może być związany z kolonizacją krytyczną, zakażeniem lub innymi czynnikami hamującymi gojenie [28].

U chorych z cukrzycą pomiary termowizyjne prowadzi się w celu uzupełnienia diagnostyki neuropatii obwodowej i określenia ryzyka owrzodzenia stopy [34–36]. Najczęściej wykonuje się aktywną termografię dynamiczną (ang. active dynamic thermography – ADT), polegającą na przeprowadzeniu testów prowokacji krążenia obwodowego i skóry z użyciem bodźca cieplnego, np. zimna. W przytaczanej pracy wykonano test polegający na pokryciu podeszwy stopy cienkim plastikiem i zanurzeniu w zimnej wodzie na jedną minutę. Dokonano pomiaru temperatury, a następnie ogrzano stopę i powtórzono pomiar po 10 minutach. Zdrowe stopy charakteryzowały się szybkim wzrostem i powrotem temperatury do wartości wyjściowych. Natomiast opóźniony wzrost lub nawet spadek temperatury stopy po prowokacji może być przejawem patologii naczyniowych i/lub neuropatii i świadczyć o zwiększonym ryzyku powikłań [34].

WARUNKI BADAŃ TERMOGRAFICZNYCH

Zaletą diagnostyki termowizyjnej jest jej powtarzalność i bezpieczeństwo. Jako metoda całkowicie bezkontaktowa i nieinwazyjna nie stanowi żadnego zagrożenia dla chorego i jego otoczenia. Może być stosowana bez ograniczeń. Niemniej jednak należy pamiętać o czynnościowym charakterze danych, jakich dostarcza termogram, a także mieć świadomość ograniczeń wynikających z tzw. czynników zakłócających. Analizę termogramów najczęściej przeprowadza się poprzez porównanie obrazu w linii symetrii (np. po obu stronach linii pośrodkowej ciała). Zdrowe narządy charakteryzuje symetryczny obraz termowizyjny, podczas gdy asymetria może być objawem zaburzeń. Powierzchniowy rozkład temperatury ciała może też ulec zaburzeniu pod wpływem bodźców zewnętrznych i wewnętrznych, które należy uwzględnić podczas interpretacji danych.

Europejskie Towarzystwo Termologiczne opracowało wytyczne określające optymalne warunki, w jakich zaleca się przeprowadzenie badania [13, 14, 19].

PRZYGOTOWANIE POMIESZCZENIA

Zaleca się, aby temperatura otoczenia była względnie stała podczas całego badania, tj. zarówno w okresie aklimatyzacji chorego, jak i podczas zbierania termogramów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku pomiarów aktywnych, analizujących przejściowe procesy termiczne pod wpływem bodźca cieplnego, chłodzenia lub ogrzewania. Nawet niewielkie wahania mogą wpływać na wynik pomiaru, spowodować błędną interpretację, a nawet utratę ważnych danych pomiarowych [15]. Wykazano, że w temperaturze pokojowej (18–26°C) temperatura skóry może zmieniać się o około 0,5°C na każdy wzrost lub spadek temperatury otoczenia o 1°C [23]. Dlatego, zgodnie z wytycznymi, pomieszczenie, w którym odbywają się medyczne pomiary termowizyjne, powinno spełniać następujące warunki:

- zachowanie względnie stałej temperatury otoczenia

© Evereth Publishing, 2018

! *Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.*

w zakresie 20–24°C (dla pojedynczego badania zmienność nieprzekraczająca ±0,5–1,0°C);
- wilgotność względna powietrza na poziomie 45–55%;
- ograniczenie zbędnej cyrkulacji powietrza, m.in.: poprzez ograniczenie liczby i ruchu osób w trakcie badania, unikanie otwierania drzwi, usunięcie/wyłączenie urządzeń emitujących ciepło (kaloryfery, grzejniki, piecyki), ograniczenie ilości i natężenia źródeł światła oraz promieniowania słonecznego (w oknach rolety zaciemniające);
- powierzchnia pomieszczenia >6 m^2 (optymalnie ≥3×4 m^2);

PRZYGOTOWANIE PACJENTA

Wykazano, że po zdjęciu odzieży temperatura powierzchni ciała człowieka ulega obniżeniu. Najszybciej spada w ciągu pierwszych 15 minut, po czym spowalnia. Pełną stabilizację cieplną człowiek uzyskuje po około jednej godzinie od zdjęcia ubrania. Jednak w przypadku skrajnych temperatur proces aklimatyzacji ulega zaburzeniu. W temperaturze <18°C schłodzenie ciała odbywa się szybko, czemu najczęściej towarzyszy silne drżenie. Z kolei wysokie temperatury (>25°C) powodują, że ciało zaczyna się pocić. Nieprawidłowa aklimatyzacja może być przyczyną zafałszowania wyników i trudności w interpretacji termogramów [15, 17, 19, 24]. Przed przystąpieniem do badania zaleca się minimum 15-minutową aklimatyzację pacjenta obejmującą:
- odsłonięcie badanej powierzchni (zdjęcie odzieży, zegarka, biżuterii) na minimum 15 minut przed badaniem (dłużej w przypadku znacznej różnicy temperatur pomiędzy pomieszczeniem badawczym a miejscem wcześniejszego pobytu pacjenta, np. zimą w czasie mrozów lub latem w trakcie upałów);
- unikanie bezpośredniego kontaktu skóry z inną powierzchnią (choremu nie wolno się dotykać, drapać, masować, opierać o poręcze, oparcie krzesła/kozetki itp.);
- ograniczenie działań wpływających na termoregulację (około 3 godziny przed badaniem nie zaleca się spożywać gorących posiłków/napojów, palić papierosów, pić alkoholu, wykonywać intensywnych ćwiczeń i wysiłku fizycznego);
- ograniczenie działania czynników wpływających na współczynnik emisyjności lub proces parowania z powierzchni skóry (w dniu badania zakaz stosowania kosmetyków, maści, leków, kremów, makijażu na badaną powierzchnię).

WYBÓR SPRZĘTU

Skóra ludzka jest ciałem szarym o emisyjności zbliżonej do ciała doskonale czarnego. Oznacza to, że w całym zakresie spektralnym współczynnik emisyjności jest stały i wynosi 0,98. Ciało ludzkie emituje promieniowanie w zakresie średniej podczerwieni (około 2 µm), aż po mikrofale, ale maksimum emisji osiąga dla fali o długości 9,36 µm. Do pomiarów medycznych stosuje się zatem kamery termowizyjne pracujące w zakresie średniej (2,5–5,6 µm), jak i dalekiej podczerwieni (7–13 µm). Na rynku dostępny jest szeroki wybór kamer termowizyjnych obrazujących w podczerwieni i oprogramowania, mających zastosowanie w badaniach medycznych. Wybór optymalnej kamery gwarantuje, że badanie będzie sprawnie przeprowadzone, a wyniki dokładne i rzetelne, zgodne z obowiązującymi standardami medycznymi [15].

PODSUMOWANIE

We współczesnej medycynie coraz większe znaczenie mają nowoczesne i nieinwazyjne metody diagnostyki obrazowej. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania technikami opierającymi się na pomiarze temperatury ciała i jej rozkładu na powierzchni skóry. Termografia, mimo badań potwierdzających jej przydatność w badaniach przesiewowych lub prognozowaniu ryzyka zaburzeń, nie jest powszechnie stosowana, m.in. z powodu wysokich kosztów sprzętu i małej dostępności. W ocenie procesu gojenia ran jest metodą uzupełniają, dostarczającą informacji o przebiegu procesu zapalnego, rozwijającej się infekcji czy postępie gojenia. Być może w przyszłości termografia stanie się powszechnym narzędziem, dostarczającym informacji o procesach cieplnych, dynamice zmian naczyniowych, uzupełniających rutynowe metody diagnostyki rany.

KONFLIKT INTERESÓW: nie zgłoszono.

PIŚMIENNICTWO

1. Khoo R, Jansen S. The evolving field of wound measurement techniques: a literature review. Wounds 2016;28(6):175–181.
2. Flanagan M. Improving accuracy of wound measurement in clinical practice. Ostomy Wound Manage 2003;49(10):28–40.
3. Flanagan M. Wound measurement: can it help us to monitor progression to healing? J Wound Care 2003;12(5):189–194.
4. Szewczyk MT, Jawień A, Migdalski A, Piotrowicz R, Grzela T, Brazis P. Predicting time to healing by anatomical assessment of venous pathology. Med Sci Monitor 2009;15(2):CR74–CR81.
5. Chaby G, Senet P, Ganry O et al. Prognostic factors associated with healing of venous leg ulcers: a multicentre, prospective, cohort study. Br J Dermatol 2013;169(5):1106–1113.
6. Gilman T. A multicenter study of percentage change in venous leg ulcer area as a prognostic index of healing at 24 weeks. Brit J Dermatol 2003;149(9):896–897.
7. Foltynski P. Ways to increase precision and accuracy of wound area measurement using smart devices: advanced app Planimator. PLoS ONE 2018;13(3):e0192485.
8. Steed DL, Attinger C, Colaizzi T et al. Guidelines for the treatment of diabetic ulcers. Wound Repair Regen 2006;14(6):680–692.
9. Chang AC, Dearman B, Greenwood JE. A comparison of wound area measurement techniques: visitrak *versus* photography. Eplasty 2011;11:e18.
10. Szewczyk MT, Jawień A. Zalecenia specjalistycznej opieki pielęgniarskiej nad chorym z owrzodzeniem żylnym goleni. Piel Chir Angiol 2007;3(1):95–129.
11. Jawień A, Szewczyk MT, Kaszuba A et al. Wytyczne Grupy Ekspertów w sprawie gojenia owrzodzeń żylnych goleni. Leczenie Ran 2011;8(3):59–80.

© Evereth Publishing, 2018

Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

12. Franks PJ, Barker J, Collier M et al. Management of patients with venous leg ulcers: challenges and current best practice. J Wound Care 2016;25(Suppl. 6):S1–S67.
13. Ring EFJ. The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine. Journal of Medical Engineering & Technology 2006;30(4):192–198.
14. Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. Physiol Meas 2012;33(3):R33–R46.
15. Bauer J, Dereń E. Standaryzacja badań termograficznych w medycynie i fizykoterapii. Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna 2014;20(1):11–20.
16. Qi H, Diakides NA. Thermography. In: Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 2006.
17. Fita K, Dobrzyński M, Całkosiński I, Dudek K, Bader-Orłowska D. Przydatność termografii w diagnostyce lekarsko-stomatologicznej – doświadczenia własne. Ann Acad Med Stetin 2007;53(Suppl. 3):S34–S38.
18. Bauer J, Hurnik P, Zdziarski J et al. Termowizja i jej zastosowanie w medycynie. Acta Bio-Opt Inform Med 1997;3(2–4):121–131.
19. Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. Thermology International 2008;18(4):125–144.
20. Zhang S, Gnyawali S, Huang J et al. Multimodal imaging of cutaneous wound tissue. J Biomed Opt 2015;20(1):016016.
21. Gourd E. Thermography should not be used in breast cancer screening. Lancet Oncol 2017;18(12):e713.
22. Fitzgerald A, Berentson-Shaw J. Thermography as a screening and diagnostic tool: a systematic review. N Z Med J 2012;125(1351):80–91.
23. Souza GA, Brioschi ML, Vargas JV, Morais KC, Dalmaso Neto C, Neves EB. Reference breast temperature: proposal of an equation. Einstein (São Paulo) 2015;13(4):518–524.
24. Chanmugam A, Langemo D, Thomason K et al. Relative temperature maximum in wound infection and inflammation as compared with a control subject using long-wave infrared thermography. Adv Skin Wound Care 2017;30(9):406–414.
25. Romanò CL, D'Anchise R, Calamita M, Manzi G, Romano D, Sansone V. Value of digital telethermography for the diagnosis of septic knee prosthesis: a prospective cohort study. BMC Musculoskelet Disord 2013;14:7.
26. Horzic M, Bunoza D, Maric K. Contact thermography in a study of primary healing of surgical wounds. Ostomy Wound Manage 1996;42(1):36–44.
27. Fierheller M, Sibbald RG. A clinical investigation into the relationship between increased periwound skin temperature and local wound infection in patients with chronic leg ulcers. Adv Skin Wound Care 2010;23(8):369–379.
28. Nakagami G, Sanada H, Iizaka S et al. Predicting delayed pressure ulcer healing using thermography: a prospective cohort study. J Wound Care 2010;19(11):465–466, 468.
29. Dini V, Salvo P, Janowska A, Di Francesco F, Barbini A, Romanelli M. Correlation between wound temperature obtained with an infrared camera and clinical wound bed score in venous leg ulcers. Wounds 2015;27(10):274–278.
30. Taradaj J, Franek A, Blaszczak E et al. Physical therapy in the treatment of venous leg ulcers: biophysical mechanisms. Wounds 2012;24(5):138–145.
31. Cox J, Kaes L, Martinez M, Moles D. A Prospective, observational study to assess the use of thermography to predict progression of discolored intact skin to necrosis among patients in skilled nursing facilities. Ostomy Wound Manage 2016;62(10):14–33.
32. Kanazawa T, Kitamura A, Nakagami G et al. Lower temperature at the wound edge detected by thermography predicts undermining development in pressure ulcers: a pilot study. Int Wound J 2016;13(4):454–460.
33. Oliveira AL, Moore Z, O Connor T, Patton D. Accuracy of ultrasound, thermography and subepidermal moisture in predicting pressure ulcers: a systematic review. J Wound Care 2017;26(5):199–215.
34. Balbinot LF, Robinson CC, Achaval M, Zaro MA, Brioschi ML. Repeatability of infrared plantar thermography in diabetes patients: a pilot study. J Diabetes Sci Technol 2013;7(5):1130–1137.
35. Adam M, Ng EYK, Tan JH, Heng ML, Tong JWK, Acharya UR. Computer aided diagnosis of diabetic foot using infrared thermography: a review. Comput Biol Med 2017;91:326–336.
36. Staffa E, Bernard V, Kubíček L et al. Using noncontact infrared thermography for long-term monitoring of foot temperatures in a patient with diabetes mellitus. Ostomy Wound Manage 2016;62(4):54–61.

© Evereth Publishing, 2018