

Mgr inż. Beata Englisz-Jurgielewicz

**Wykorzystanie termowizji i planimetrii w ocenie efektów
tlenoterapii hiperbarycznej oraz Oxybarii-S w leczeniu
trudno-gojących się ran podudzi.**

Rozprawa Doktorska

Promotor: dr n. fiz. hab. n. med. prof. UŚ Armand Cholewka

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych

Chorzów, 2022

Pragnę złożyć serdeczne podziękowania

***Promotorowi dr n. fiz. hab. n. med. prof. UŚ Armandowi Cholewce,**
za poświęcony czas, zaangażowanie, cierpliwość,
wszelkie cenne uwagi merytoryczne
oraz za wszechstronną pomoc i możliwość rozwoju.*

*Jednocześnie składam serdeczne podziękowania dla
Pana prof. dr hab. Marka Kaweckiego,
Pana Dyrektora dr n med. Mariusza Nowaka
za umożliwienie przeprowadzenia badań i wszelką pomoc całego zespołu
Centrum Leczenia Oparzeń im. dr Stanisława Sakiela w Siemianowicach Śląskich*

*Pragnę złożyć podziękowania dla **prof. dr hab. n. med. Agaty Stanek** za pomoc
merytoryczną i możliwość wykonywaniu badań w Klinice Chorób Wewnętrznych,
Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu.*

*Chciałabym również podziękować **Mężowi Patrykowi,** za nieustanne wsparcie,
motywację oraz wiarę we mnie.*

Dziękuję.

Spis treści

I WPROWADZENIE	5
II CZĘŚĆ TEORETYCZNA	9
1. Wpływ tlenu na organizm	9
2. Medycyna hiperbaryczna	11
2.1 Miejscowa tlenoterapia hiperbaryczna	16
3. Podstawy fizyczne tlenoterapii hiperbarycznej HBOT	19
3.1. Gaz doskonały	19
3.2 Prawo Boyle'a Mariotte'a	20
3.3 Prawo Williama Henry'ego	20
3.4 Prawo Daltona	21
3.5 Prawo Ficka	22
4. Problematyka trudno-gojących się ran w obrębie kończyn dolnych	23
4.1 Etiologia ran przewlekłych	23
4.2 Fizjologia i patofizjologia procesu gojenia się ran	25
4.3 Owrzodzenia troficzne podudzi – etiologia	27
5. Metody oceny zaawansowania procesów chorobowych i ich zmian podczas leczenia w przewlekłych oraz trudno-gojących się ranach	28
5.1 CEAP – System klasyfikacji przewlekłej niewydolności żylniej	28
5.2 Ocena wizualna ran	31
5.3 Oksymetria przezskórna (tcp02)	32
5.4 Ocena planimetryczna	33
6. Temperatura powierzchni ciała i jej znaczenie w procesie diagnozowania i oceny efektów leczenia przewlekłych oraz trudno-gojących się ran	34

6.1 Termoregulacja	35
6.2 Sposoby wymiany ciepła	36
6.3 Równanie Pennesa	39
6.4 Charakterystyka promieniowania ciała doskonale czarnego	40
7. Zastosowanie termowizji w medycynie	44
III ZAŁOŻENIA I CELE PRACY	47
IV CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA.....	50
8. Materiał kliniczny i miejsce prowadzonych badań	50
9. Metodyka – grupa HBOT	52
9.1 Prezentacja wyników – grupa HBOT	53
10. Omówienie wyników i dyskusja – grupa HBOT.....	56
10.1 Obrazowanie termograficzne w podziale na 3 okresy leczenia HBOT ...	56
10.2 Obrazowanie planimetryczne w podziale na 3 okresy leczenia HBOT ...	59
10.3. Analiza statystyczna – grupa HBOT	62
11. Prezentacja wyników – grupa THBOT	67
11.1 Omówienie wyników i dyskusja – grupa THBOT	67
11.2 Obrazowanie termograficzne w podziale na 3 okresy leczenia THBOT .	68
11.3 Analiza statystyczna – grupa THBOT	71
12. Podsumowanie.....	75
13.Wnioski	76
14. Piśmiennictwo.....	80
15. Spis rysunków	91
16. Spis tabel.....	92
17. Spis wykresów	92

Niniejsza praca stanowi próbę pokazania możliwości zastosowania w medycynie fizykalnej nieinwazyjnych metod obrazowych, które mogłyby być stosowane w jednym innowacyjnym urządzeniu do oceny efektów leczenia trudno gojących się ran, niosąc nie tylko informacje jakościowe, ale przede wszystkim obiektywne, ilościowe w postaci parametrów termicznych oraz planimetrycznych.

Autor

I WPROWADZENIE

W dzisiejszych czasach choroby cywilizacyjne stały się chorobami ogólnospołecznymi. Przyzwyczajenie ludzi do statycznego trybu życia, ograniczenie ruchu oraz wynikająca z tej sytuacji nadwaga, w dużej mierze przyczyniają się do powstawania tych chorób. Oczywiście tych niekorzystnych efektów prowadzących do powikłań zdrowotnych jest więcej, jednakże głębsza analiza ich wpływu wykracza poza ramy niniejszej pracy.

Do chorób cywilizacyjnych zaliczamy m.in. choroby układu sercowo-naczyniowego, cukrzycę, nadwagę, nowotwory, choroby psychiczne, jak również choroby układu pokarmowego.¹

Nieprawidłowości w funkcjonowaniu układu krwionośnego mogą prowadzić do nadciśnienia, miażdżycy, a w konsekwencji do udaru mózgu oraz zawału serca.²

Współcześnie choroby układu krążenia są bardzo powszechne i mają ogromny wpływ na jakość oraz długość naszego życia. Mogą one prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych, w wyniku czego mogą skutkować przewlekłymi, trudno-
gojącymi się ranami.³

Ludzkość w procesie ewolucji spionizowała swoją postawę ciała, co wpłynęło na rozwój predyspozycji do chorób naczyniowych kończyn dolnych w szczególności podudzi. Dzieje się tak z powodu grawitacji i gromadzenia się krwi w naczyniach krwionośnych pod jej wpływem oraz innych powiązanych czynników. Krew wyrzucana z lewej komory do krwioobiegu u człowieka w pozycji pionowej powoduje wzrost ciśnienia hydrostatycznego najbardziej odczuwalny w okolicach dolnych partii kończyn dolnych. Jest ono wprost proporcjonalne do wysokości „słupa” krwi. Z kolei powracająca z kończyn dolnych do serca musi przebyć, u człowieka o standardowych rozmiarach, około 120 cm w górę, co również wymaga sprawnego układu krążenia i działania pompy mięśniowej. Taki długotrwały nacisk przy dodatkowych współistniejących chorobach układu krążenia może prowadzić do wielu poważnych powikłań, prowadzących w konsekwencji do m.in. do powstawania trudno-gojących się ran.⁴

¹ Bulska J (red.). Zagrożenia zdrowia chorobami cywilizacyjnymi. Pedagogiczne konteksty badawcze. Kraków; Wydawnictwo Impuls, 2008

² Siemiński M. Środowiskowe zagrożenia zdrowia. Warszawa; Wydawnictwo PWN, 2009.

³ Lacroix P, Abovans V, Preux PM, Houles MB, Laskar M (2003) Epidemiology of venous insufficiency in an occupational population. *Int Angiol* 2; 22:172—176

⁴ Cholewka A, Knefel G, Stanek A, Kawecki M, Nowak M, Sieroń A, Drzazga Z: Thermal imaging and TC oximetry measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura. *J J Therm Anal Calorim* 2012; 108(1), 25-31.

Trudno gojące się rany, które w literaturze równie często nazywane są ranami przewlekłymi definiuje się jako rany, które goją się co najmniej przez ponad 8 tygodni pomimo optymalnego leczenia miejscowego. Jest to ważny problem w praktyce klinicznej. Przedłużone gojenie się ran i związane z nimi stany chorobowe stanowią duże wyzwanie dla współczesnej medycyny i przyczyniają się do znacznego obciążenia opieki zdrowotnej.

W dużej mierze rany przewlekłe powstają w obrębie kończyn dolnych w postaci owrzodzeń, w przebiegu chorób tętnic obwodowych (ang. PAD – peripheral artery disease), cukrzycy oraz niewydolności żylnych⁵. Częstość występowania trudno gojących się ran rośnie nie tylko z powodu prowadzonego stylu życia czy diety, ale także zaniedbań zdrowotnych oraz starzenia się społeczeństwa. Dlatego wczesna diagnostyka i interwencja oraz leczenie są kluczem do poprawy wyników leczenia pacjentów.⁶ Obecnie stosowane metody diagnostyczne i terapeutyczne w tym zakresie są skuteczne, ale konieczne jest ciągle doskonalenie, aby dążyć do najlepszego leczenia zachowawczego i chirurgicznego. Powszechnie stosowaną metodą leczenia ran opisaną w literaturze jest tlenoterapia hiperbaryczna. Terapia tlenem hiperbarycznym HBOT (ang. Hiperbaric Oxygen Therapy) jest szeroko stosowana w leczeniu ran niedokrwienych. Jej istotną zaletą jest to, że wysokie stężenie tlenu przyspiesza neowaskularyzację, działa bakteriobójczo oraz zmniejsza obrzęk i stan zapalny.

Tworzenie nowej sieci naczyń głównie włosowatych prowadzi do poprawy krążenia w naczyniach krwionośnych. W efekcie wzrasta poziom metabolizmu w szczególności w tkankach zlokalizowanych powierzchniowo. Procesy te są związane z transportem krwi i redystrybucją płynów tkankowych, co może objawiać się zmianami temperatury tkanek wskutek poprawy termoregulacji.

Oczekiwany działaniem HBOT jest więc poprawa procesów gojenia się ran, a co za tym idzie zmniejszenie obszaru rany i spadek temperatury, co może przynieść lekarzom ważne informacje o efektach terapii.⁷

⁵ Brown ML, Tang W, Patel A, Baumhauer JF. Partial footamputation in patients with diabetic foot ulcers. *Foot Ankle Int*2012; 33(9): 707-16.

⁶ Oszkinis G., Gabriel M., Majewski W. Pukacki F, Leczenie ran trudno gojących się, Blackhorse, Warszawa, 2006

⁷ Armand Cholewka, Grzegorz Liszka, Tomasz Walentek, „Medycyna hiperbaryczna – podstawy fizyczne” w Aleksander Sieroń(red), Grzegorz. Cieślak (red), Zarys medycyny hiperbarycznej, α -medica Press wydanie II, Bielsko-Biała 2007

Kilka lat temu powstała nowa technika leczenia ran o nazwie Oxybaria-S, która łączy w sobie jednocześnie działanie tlenu o podwyższonym ciśnieniu oraz ozonu.⁸

Zastosowanie ozonu wykorzystywane jest w celu bakteriobójczego działania na otwarte rany, co wpływa na procesy gojenia, przy jednoczesnym zachowaniu zwiększonego stężenia tlenu w tkance. Zabiegi z użyciem urządzenia Oxybarii-S odbywają się przy użyciu cylindrycznej komory terapeutycznej zakładanej na kończynę. Komora zamykana jest szczelnie za pomocą elastycznego mankietu. W terapii tej wykorzystuje się tlen o ciśnieniu 1 mBa (2 kPa) i przepływie ok. 6l na minutę. Stężenie tlenu wewnątrz komory wynosi ok. 90%. Podczas zabiegu dodatkowo do aplikatora podawany jest ozon w stężeniu 50µg ozonu/ml tlenu.⁹

Oprócz oceny wizualnej lekarza w trakcie prowadzonej terapii w leczeniu trudno-gojących się ran, wykorzystywana jest planimetria oraz oksymetria przezskórna. Planimetria jest powszechnie stosowana w ilościowym monitorowaniu wpływu tlenoterapii hiperbarycznej. Jest to technika cyfrowa, za pomocą której można dokumentować w sposób obiektywny zmieniającą się w trakcie terapii powierzchnię rany. Metoda ta pozwala na wygodną archiwizację danych i nie wymaga bezpośredniego kontaktu z pacjentem, co jest bardzo ważne przy leczeniu ran otwartych lub zakażonych.¹⁰

Technika planimetryczna porównuje jednostkę długości z wzorcem i oblicza pole powierzchni rany, w efekcie otrzymuje pole powierzchni mierzonego obszaru rany. Dokładny opis metody badawczej został umieszczony w rozdziale 9 niniejszej pracy.

Oksymetria przezskórna pozwala na pomiar prężności tlenu (tcpO₂). Jest to technika służąca do czynnościowej oceny przepływu mikrokrażenia związanego z utlenowaniem tkanek.¹¹

Powyższe metody służą do oceny wizualnej, natomiast nie uzyskamy informacji na temat zmian temperaturowych, które pośrednio świadczą o procesach metabolizmu tkanek oraz o zasięgu zmian stanu zapalnego w procesie leczenia trudno-gojących się ran, które

⁸ D. Białoszewski, E. Bocian, S. Tyski „Ozonoterapia oraz zastosowanie ozonu w dezynfekcji” POST. MIKROBIOL 2012

⁹ Sieroń A, Pasek J. OXYBARIA-S – nowatorskie urządzenie do hiperbarycznej terapii tlenowej. Rehabil w Prakt 2015; 1: 56.

¹⁰ G. Liszka, **B. Englisz**, G. Kniefel, et al Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and planimetry- preliminary results Thermology international Vol 26 (2016), Supplement: 16-18

¹¹ Forum Medycyny Rodzinnej 2017, tom 11, nr 2, 80-8

należy uznać za kolejny etap ran przewlekłych w przypadku których stosowane różne terapie nie dają efektu leczniczego po czasie 8 tygodni. Mogą one utrzymywać się latami. Metoda obrazowania termowizyjnego która została zaproponowana w niniejszej pracy, może nieść istotne informacje w procesie gojenia się ran przy wykorzystaniu tlenoterapii hiperbarycznej, co zostało opisane w literaturze oraz pracach z moim udziałem.^{12,13,14}

W celu uzyskania obrazu termograficznego wykorzystuje się kamery termowizyjne działające w zakresie promieniowania podczerwonego. Pomiaru dokonuje się w sposób bezkontaktowy, poprzez rejestrację promieniowania termicznego emitowanego przez organizm. Ocena zmian wartości temperatury umożliwia monitorowanie procesów zachodzących podczas leczenia, które mogą być związane z poprawą mikrokrążenia, głównie w naczyniach włosowatych, wzrostem metabolizmu szczególnie w tkankach zlokalizowanych powierzchniowo, wpływając na zmiany temperatury powierzchni ciała na skutek zmian metabolicznych.¹⁵

W praktyce klinicznej wymagany jest nieinwazyjny, szybki, tani i łatwy w wykonaniu test diagnostyczny dający możliwość szybkiej klasyfikacji jak również wyboru dalszej drogi leczenia pacjentów. Znacząca jest stała weryfikacja postępów gojenia się ran, gdyż pozwala to odpowiednio modyfikować działania oraz odpowiednio szybko reagować w sytuacji, gdy stan rany ulega zmianie. Wydaje się oczywiste, iż monitorowanie procesu leczenia w trakcie prowadzonej terapii powinno być zasadniczą częścią weryfikującą prowadzącą do rozpoznania oraz prognozowania dalszego leczenia w problematyce trudno-gojących się ran.

W związku z powyższym rozsądne wydaje się połączenie technik termowizyjnych i planimetrycznych, ponieważ techniki te umożliwiają ocenę powierzchni skóry zarówno pod kątem zmian strukturalnych jak i parametrów termicznych - funkcjonalnych pośrednio opisujących zmiany metabolizmu.

¹² **Englisz-Jurgielewicz B.**, Cholewka A., Firganek E., Knefel G., Kawecki M., Glik J., Nowak M., Sieroń K., Stanek A., Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*

¹³ Glik J, Cholewka A, **Englisz B.**, et al. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv Clin Exp Med*, 2018; 28: 1-8.

¹⁴ **Englisz B.**, Cholewka A, Knefel G, i wsp. Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi. *Inż Fizyk Med* 2018; 7: 139-142.

¹⁵ **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Firganek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2020, 141, 1465–1475.

II CZĘŚĆ TEORETYCZNA

1. Wpływ tlenu na organizm

Tlen jako pierwiastek uczestniczy w wielu reakcjach chemicznych stanowiących podstawę w przebiegu procesów fizjologicznych naszego organizmu, a jego rola nie ogranicza się do układu oddechowego. Jest jednym z najważniejszych makroelementów biorących udział w procesach metabolicznych. Makroelementy to pierwiastki, których zawartość w ustroju wynosi ponad 0,01%, natomiast dzienne zapotrzebowanie przekracza 100 mg. Tlen należy do grupy pierwiastków, występujących w stosunkowo dużych ilościach jako niezbędny składnik tłuszczów, cukrów (węglowodanów), białek, a przede wszystkim występuje w komórkach związku chemicznego – wody (H₂O).^{16,17}

Proces, w którym tlen przedostaje się do pęcherzyków płucnych nazywa się wymianą gazową pomiędzy organizmem żywym a otoczeniem. W naczyniach włosowatych znajdujących się w ściankach pęcherzyków płucnych płynie krew, w której erytrocyty, a dokładniej zawarta w nich hemoglobina wiąże cząsteczki tlenu przenikając przez mikrokanaliki w ściankach naczyń włosowatych. W efekcie w naszym krwiobiegu płynie utlenowana krew docierając do wszystkich komórek organizmu.¹⁸

Tlen uczestnicząc w procesach fizjologicznych naszego organizmu wspomaga:

- oddychanie tkankowe, dzięki czemu komórki uzyskują energię zmagazynowaną w postaci adenozyntrójfosforanów (ATP)
- uczestniczy w reakcjach utleniania związków chemicznych z udziałem tlenu,
- jest integralną częścią systemu cytochromu P-450, biorącego udział w metabolizowaniu leków, karcynogenów oraz szkodliwych związków.¹⁹

¹⁶ Cloud P.: Atmospheric and hydrospheric evolution on the primitive earth. Science 1968, 160, 729–736

¹⁷ Bartosz G.: Druga twarz tlenu. Warszawa PWN, 1995.

¹⁸ Bartosz G. Druga twarz tlenu, Warszawa 2008, wyd. 2

¹⁹ Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <http://fundacja-ozonoterapii.org>,

Tlen medyczny jako pierwiastek wykorzystywany jest w medycynie w bardzo wysokim stężeniu i czystości (co najmniej 99,4%). Jest on szeroko stosowany w leczeniu wszystkich postaci niedotlenienia w celu przywrócenia właściwego ciśnienia cząstkowego tego pierwiastka w komórkach. Ponadto, co istotne z punktu widzenia niniejszej pracy - w mechanizmie naprawy tkanek wzrasta stopień zapotrzebowania na tlen.

Dlatego też zastosowanie terapii wykorzystującej tlen pod zwiększonym ciśnieniem – tlenoterapii hiperbarycznej (HBO – ang. Hyperbaric Oxygen Therapy) w niektórych schorzeniach jest wyjątkowo efektywne.²⁰ Terapia hiperbaryczna jest szeroko stosowana w leczeniu ran niedokrwiennych, jej istotną zaletą jest to, że w warunkach wysokiego stężenia tlenu wzrasta produkcja reaktywnych form tlenu oraz azotu, stanowiących kluczową rolę w tworzeniu macierzy komórkowej przyspieszając neowaskularyzację, działając bakteriobójczo oraz zmniejszając obrzęk i stan zapalny.²¹ Efekty te są spowodowane wzrostem zdolności transportu tlenu we krwi i powodują wzrost proliferacji tkanek. Prowadzi to do poprawy perfuzji i zmniejszenia obrzęku. Odbudowanie naczyń krwionośnych, przede wszystkim unaczynienia włóscinkowego wpływa na poprawę krążenia krwi i termoregulacji w okolicy trudno-gojących się ran. Takie procesy pozwalają na wprowadzenie antybiotyków do obszaru dotkniętego chorobą. Natlenianie hiperbaryczne wpływa na procesy biologiczne i fizjologiczne tkanek.²²

Przebywając w warunkach normalnych (ciśnienie 1 [ATA]) osocze zawiera około 0,3 ml tlenu w 100 ml osocza.²³

Przy ciśnieniu wynoszącym 3 [ATA] powyższa proporcja wzrasta do 6,6 ml/100 [ml] osocza.²⁴ Taki poziom tlenu znajdującego się w surowicy krwi wystarcza do zapotrzebowania na tlen wszystkich tkanek człowieka będącego w spoczynku.

Człowiek jest przystosowany do życia w stosunkowo niewielkim zakresie zmian wartości ciśnienia zewnętrznego. Jest to ciśnienie atmosferyczne związane z równomiernym

²⁰ Cholewka A, Stanek A, Klimas A, Sieroń A, Drzazga Z. Thermal imaging application in chronic venous disease. Pilot study. *J Therm Anal Calorim* 2014; 115: 1609-1618.

²¹ Cholewka A, Kajewska J, Kawecki M, Sieroń-Stołyński K, Stanek A. How to use thermal imaging in venous insufficiency? *J Therm Anal Calorim* 2017, 130: 1317-1326.

²² Szymańska B., Kawecki M, Knefel G: Kliniczne aspekty hiperbarii tlenowej. *Wiadomości Lekarskie*, 2006, LIX, 1-2

²³ Grzegorz Knefel, Piotr Wróblewski, Przemysław Strzelec, Mariusz Trzaska, Michał Werner, Marek Kucharzewski, „Zastosowanie tlenu hiperbarycznego w leczeniu oparzeń”, *Chirurgia Plastyczna i Oparzenia* 2019;17-24

²⁴ Traczyk W.Z., Trzebski A. *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej*. PZWL, Warszawa 1980.

naciskiem atmosfery ziemskiej na struktury fizyczne oraz organizmy żywe. Każda zmiana ciśnienia niesie za sobą wpływ na przebieg procesów fizycznych, które związane są z dynamiką przepływów gazów oddechowych, co w sposób bezpośredni wpływa na saturację tkanek oraz intensywność procesów z udziałem tlenu w naszym organizmie.²⁵

W związku z powyższym omawiając tlen w odniesieniu do medycyny hiperbarycznej, należy podkreślić jego toksyczne działanie wywierane na bakterie beztlenowe. Przy zastosowaniu ciśnienia o wartości 2-3[ATA] obserwuje się znaczące zahamowanie wzrostu beztlenowców. Ponadto, hiperbaryczny tlen wykazuje działanie hamujące produkcję lecytynazy (toksyny-alfa) przez *Clostridium perfringens*, odpowiedzialnej za niszczenie błon komórkowych oraz wzrost przepuszczalności naczyń włosowatych w tkankach zajętych procesem infekcyjnym.²⁶

Tworzenie się nowych naczyń włosowatych poprawia mikrokrążenie, co bezpośrednio wpływa na poprawę termoregulacji w konsekwencji zmniejszając obrzęk tkanek zmienionych chorobowo. Działanie te mają wpływ na metabolizm, zmiany w obrębie powierzchni rany, a co za tym idzie odpowiedź termiczną, którą możemy zarejestrować przy użyciu kamery termowizyjnej.²⁷

2. Medycyna hiperbaryczna

Tlenoterapia hiperbaryczna HBOT (*ang. Hyperbaric oxygen therapy*) wykorzystuje mieszaninę gazów o wysokiej zawartości tlenu o ciśnieniu wyższym niż atmosferyczne lub czysty 100% tlen, co wpływa na szeroko rozumiany proces gojenia tkanek²⁸. Podczas terapii, dzięki zwiększonej podaży tlenu i zwiększonemu ciśnieniu w porównaniu do warunków normalnych tlen wdychany przez pacjenta z maski tlenowej oraz atmosfery w której znajduje się pacjent, rozpuszcza się zgodnie z prawem Henry'ego w osoczu, w znacznie większej ilości niż w warunkach normalnych.

²⁵ Armand Cholewka, Grzegorz Liszka, Tomasz Walentek, „Medycyna hiperbaryczna – podstawy fizyczne” w Aleksander Sieroń(red), Grzegorz. Cieślak (red), Zarys medycyny hiperbarycznej z elementami terapii skojarzonej, *α-medica Press* wydanie IV, 2022

²⁶ D. R. Knighton, B. Halliday, T.K. Hunt, Oxygen as an antibiotic: The effect of inspired oxygen an infection. *Arch. Surg.* 1984, 119, (2), 199-204.

²⁷ A. Cholewka, G. Knefel, M. Kawecki, M. Nowak, A. Stanek, A. Sieroń, Z. Drzazga, Thermal Imaging and TC Oximetry Measurements of Hyperbaric Oxygen Therapy (HBO) Effects on Trophic Ulceration of the Tibias

²⁸ Sieroń A. (Ed), Cieślak G. (Ed), Basics of Hyperbaric Medicine. A-Medica Press, Bielsko-Biała, 2006

W warunkach panujących w komorze, tlen z łatwością przenika do tkanek i płynów fizjologicznych człowieka, wspomagając leczenie stanów zapalnych i zwiększając liczbę komórek macierzystych w krwiobiegu. Podczas tlenoterapii stężenie tlenu zwiększa się również w osoczu, płynie mózgowo-rdzeniowym, układzie limfatycznym oraz w przestrzeni międzykomórkowej.

Zwiększona ilość komórek macierzystych zapewnia organizmowi ogromną zdolność do rewitalizacji, spowalniając procesy starzenia, przyspieszając gojenie ran, lecząc infekcje jak również zmniejszając stany zapalne.

Zabiegi tlenoterapii uruchamiają następujące procesy:

- 1) zmniejsza się objętość pęcherzyków gazu we krwi wraz ze wzrostem ciśnienia (zgodnie z prawem Boyle-Mariotta),
- 2) poprawia się aktywność osteoklastów,
- 3) dochodzi do proliferacji fibroblastów,
- 4) skraca się okres połowicznego rozpadu karboksyhemoglobiny,
- 5) tworzą się nowe naczynia włosowate,
- 6) pojawia się skurcz naczyń i zmniejsza się obrzęk uszkodzonych tkanek,
- 7) tworzą się nowe naczynia włosowate,
- 8) dochodzi do hamowania rozwoju bakterii beztlenowych,
- 9) wzrasta zależna od komórek obojętnochłonnych aktywność przeciwbakteryjna.^{29,30}

Ciśnienie wywierane na pacjenta w komorze hiperbarycznej jest sumą ciśnienia atmosferycznego oraz ciśnienia panującego w komorze. Ciśnienie to wyrażane jest w atmosferach absolutnych [ATA]. Podczas terapii najczęściej pacjenci poddawani są ciśnieniu tlenu w zakresie od 1,5 – 3,0 [ATA]. Według definicji 1 [ATA] odpowiada średniemu ciśnieniu atmosferycznemu wywieranemu na poziomie morza, czyli 14,7 Pa.³¹ Sesje terapeutyczne odbywają się w specjalnie zaprojektowanych jedno lub wieloosobowych komorach hiperbarycznych. Zdjęcia przykładowych komór hiperbarycznych przedstawiono na rysunkach 1 – 4.

²⁹ Jain K.K. (red.). Textbook of hyperbaric medicine. Wyd. 4. Hogrefe & Huber Publishers, Göttingen 2004

³⁰ Boerema I., Meyne N.G., Brummelkamp W.K. i wsp. Life without blood: a study of the influence of high atmospheric pressure and hypothermia on dilution of the blood. J. Cardiovasc. Surg. 1960; 1: 133–146.

³¹ Balneologia Polska; 7-17, „Aktualny stan medycyny hiperbarycznej w Polsce”, Urszula Łatka, Włodzisław Kuliński, Grzegorz Knefel, Aleksander Sieróń



Rysunek 1. Komora jednoosobowa.³²



Rysunek 2. Komora wieloosobowa (Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich)³³



Rysunek 3. Komora wieloosobowa (Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich).³⁴

³² Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <http://krakow.wyborcza.pl/krakow/51,44425,15845443.html?i=1>

³³ Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <https://clo.com.pl/>

³⁴ Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <https://clo.com.pl/>



Rysunek 4. Komora wieloosobowa (Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich).³⁵

Najczęściej używanym gazem w tej terapii jest 100% tlen. W komorach jednoosobowych pacjenci oddychają czystym tlenem bezpośrednio z otoczenia. Natomiast w komorach wieloosobowych każdy pacjent ma osobne miejsce, gdzie przez specjalną maskę lub hełm oddycha czystym tlenem, a w całej komorze znajduje się powietrze atmosferyczne pod zwiększonym ciśnieniem.³⁶

Protokoły leczenia w zależności od jednostki chorobowej obejmują zazwyczaj od 20 do 40, a nawet do 60 sesji HBOT trwających od 1,5 godziny do 2 godzin.

Codzienne sesje tlenoterapii pomagają dostarczać do zmienionych chorobowo tkanek odpowiednią ilość tlenu, przyczyniając się w ten sposób do progresji procesu gojenia z fazy zapalnej do fazy proliferacji.³⁷

Wydawać, by się mogło, że dostarczanie tlenu w większych ilościach do krwi może stanowić panaceum na wiele chorób. Niestety jednak, tlen w nadmiarze wykazuje działanie toksyczne dla naszego organizmu, głównie układu oddechowego oraz centralnego układu nerwowego (CNS, *central nervous system*).³⁸ Najbardziej narażone

³⁵ Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <https://clo.com.pl/>

³⁶ Gemonpre P. Burns. In: Mathieu D (ed.). Handbook On Hyperbaric Medicine. Springer, Dordrecht, 2006, pp. 479–49

³⁷ Health Quality Ontario. Hyperbaric Oxygen Therapy for the Treatment of Diabetic Foot Ulcers: A Health Technology Assessment. Ont Health Technol Assess Ser 2017;17(5):1–142

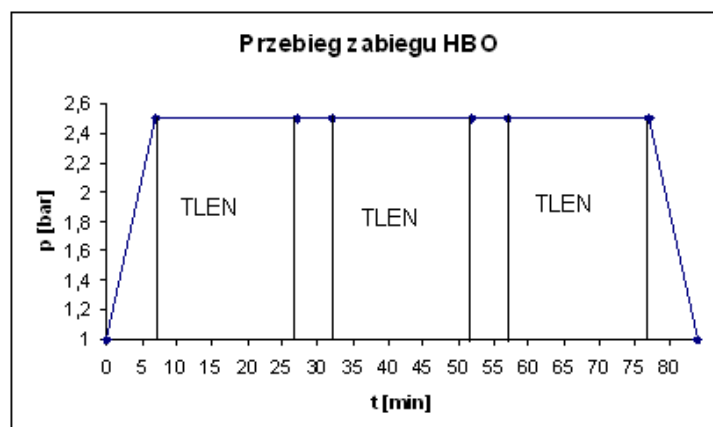
³⁸ Takahashi H., Kobayashi S. New indications for hyperbaric oxygen therapy and its complication. Adv. Otorhinolaryngol. 1998; 54: 1–13.

na toksyczne działanie tlenu są płuca, natomiast największą zaś wrażliwość wykazuje tkanka mózgowa.

Należy mieć na uwadze, że tlen, stosowany w większych ilościach jak każde lekarstwo, posiada swoje wskazania i przeciwwskazania. Jego nadmierne np. długotrwałe stosowanie pod wyższym niż normalne ciśnienie będzie toksyczny i może zwiększyć ryzyko wystąpienia różnych powikłań, natomiast stosowanie się do ściśle przyjętych procedur medycznych prowadzenia terapii tlenem hiperbarycznym oraz zachowanie wszelkich zasad bezpieczeństwa zawartych w protokołach postępowania, pozwala na zminimalizowanie skali powikłań tej procedury medycznej.³⁹

Działanie toksyczne dla układu oddechowego wiąże się z długotrwałą ekspozycją organizmu na 100% tlen w warunkach normalnego oraz podwyższonego ciśnienia. Aby rozpoznać zatrucie tlenowe należy zwrócić uwagę na uczucie podrażnienia tchawicy i krtani, ich okresowy ból, czy też obrzęk błony śluzowej nosa. Taka sytuacja może skutkować zmniejszeniem pojemności życiowej płuc. Objawy ze strony ośrodkowego układu nerwowego mają przełożenie w charakterystycznym drżeniu mięśniowym wokół ust, oczu oraz drżenie rąk.

Aby tego uniknąć, należy podawać tlen w odpowiednich frakcjach których czas trwania jest związany z ciśnieniem stosowanym w komorze hiperbarycznej. Dla przykładu w Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich, gdzie prowadzono badania dla potrzeb niniejszej pracy sesja odbywała się w trzech 20 minutowych okresach, podzielonych na 5 minutowe przerwy w trakcie których oddycha się sprężonym powietrzem wedle poniższego schematu:



Wykres 1. Sekwencje przerw tlenowych w trakcie sesji HBOT.⁴⁰

³⁹ Davis J.C., Dunn J.M., Heimbach R.D. Hyperbaric medicine; patient selection, treatment procedures and side effects. W: Davis J.C., Hunt T.K. (red.). Problem wounds: the role of oxygen. Elsevier, New York 1988; 225–235

⁴⁰ Źródło własne.

Powyższy wykres przedstawia sekwencje podawania tlenu do oddychania przez maskę w trakcie trwania jednego zabiegu (około 85 minut) w funkcji ciśnienia (bar) z uwzględnieniem tzw. przerw tlenowych. Stosuje się sekwencje po 20 minut podawania tlenu, aby nie dopuścić do nadmiernego natlenienia.⁴¹

2.1 Miejscowa tlenoterapia hiperbaryczna

Głównym ograniczeniem w szerokiej dostępności terapii hiperbarycznej dla pacjentów jest koszt instalacji i funkcjonowania komór dla leczenia większej ilości pacjentów w jednym czasie. Rozwiązaniem tego problemu może się okazać tlenoterapia miejscowa THBOT (ang. Topical Hyperbaric Oxygen Therapy). Procesy zachodzące w leczeniu miejscowym również prowadzą do intensyfikacji dyfuzji tlenu i wzrostu ciśnienia parcjalnego tlenu w tkankach. Tworzy się gradient stężenia tlenu, między nisko utlenowanymi tkankami a lepiej utlenowanymi⁴².

W związku z powyższym, wzrasta prężność tlenu w powietrzu dostającym się do pęcherzyków płucnych. Zgodnie z prawem Henry'ego rośnie siła dyfuzji i rozpuszczalności tlenu w osoczu. W takich warunkach hemoglobina ulega praktycznie całkowitemu wysyceniu tlenem.

W przeciwieństwie do ogólnoustrojowej HBOT, mechanizmy działania terapii miejscowej nie są jeszcze w pełni poznane. W związku z powyższym prowadzone są również badania w zakresie odpowiedzi termicznej u pacjentów cierpiących na owrzodzenia przy wykorzystaniu THBOT. W tych badaniach Autorka niniejszej pracy od 2013 roku bierze udział i pierwsze wyniki opublikowano już w 2015 roku.⁴³

THBOT jest stosunkowo nową metodą leczenia. Pomimo iż, ciśnienie tlenu w komorze miejscowej jest znacznie niższe niż w komorze wykorzystującej tlenoterapię hiperbaryczną i zasadniczo niewiele przekracza ciśnienie atmosferyczne, oczekiwanym działaniem leczenia na zmienione chorobowo tkanki wydaje się być poprawa procesów

⁴¹ Bodzoń W.: Podstawy tlenoterapii. Medycyna Praktyczna. Chirurgia, 1997, nr 4(4)

⁴² Pasek, J.; Cieślak, G.; Sieroń, A. Evaluation of the healing progress of phlegmon related to type 2 diabetes treated with the local hyperbaric oxygen therapy. *Acta Angiol.* 2018, 24, 93–97, doi:10.5603/AA.2018.0017.

⁴³ B. Englisz, „Termograficzna ocena wpływu tlenoterapii hiperbarycznej oraz oxybarii-s na owrzodzenia troficzne podudzi”, Katowice 2015.

gojenia, a co za tym idzie zmniejszenie obszaru rany, co w ostatnich latach opisano w literaturze.^{44,45}

Jak widać, zmiany te prowadzą do procesów odbudowy tkankowej i naczyń włosowatych, co prowadzi do zmiany metabolizmu. W związku z powyższym, prowadzi również do zmian temperatury i może przynieść lekarzom ważne informacje o efektach terapii widocznych w obrazowaniu termicznym.

Na przestrzeni ostatnich lat w problematyce ran przewlekłych Profesor Aleksander Sieroń opracował nowe urządzenie służące do miejscowej tlenoterapii o nazwie Oxybaria-S.⁴⁶ Aparat wykorzystuje ciśnienie przekraczające nieznacznie 1 [ATA].

Technika ta zaliczana jest do metod medycyny fizykalnej, która łączy działanie tlenoterapii i ozonoterapii. Komora (zwana również rękawem) wykorzystuje stężenie czystego tlenu w wysokości 90% oraz ozonu w wysokości od 0,05%-5%, działając przeciwwzapalnie i przeciwbólowo jako tzw. kąpiel tlenowo-ozonowa. Jako lokalna tlenoterapia hiperbaryczna w Polsce stopniowo jest coraz częściej stosowana, głównie w leczeniu owrzodzeń kończyn.⁴⁷

Lokalna tlenoterapia hiperbaryczna jest niezastąpiona w leczeniu pacjentów, u których bakterie wywołują chorobę odporną na działanie antybiotyków. Oxybaria-S jest właściwym rozwiązaniem terapii dla pacjentów z obniżoną odpornością. Stosowanie rękawów pozwala powstrzymać rozwój stanów chorobowych oraz związanych z nimi powikłań.⁴⁸ Z kolei stosowany w Oxybarii-S ozon jako trójcząsteczkowa postać tlenu posiada silne działania bakteriobójcze, niszcząc bakterie, wirusy oraz grzyby. Przyspiesza to proces gojenia się ran, między innymi z uwagi na wpływ ozonu na erytrocyty we krwi biorących udział w procesie dotleniania tkanek.

Ozon wymusza swą interakcją zanik substancji blokujących hemoglobinę, jednocześnie dbając o ich usuwanie zajmując ich miejsce, w celu dotlenienia komórek. Ozonoterapia

⁴⁴ JAROSŁAW PASEK, GRZEGORZ CIEŚLAR, MIKOŁAJ PIETRZAK, LESZEK JAGODZIŃSKI, ALEKSANDER SIEROŃ, Application of physical therapy procedures in the treatment of chronic wounds of palm fingers - a case report, *Pol Med J*, 2018; XLIV (260); 68–70

⁴⁵ Jarosław Pasek, Dariusz Majda, Grzegorz Cieślar, Tomasz Pasek, Aleksander Sieroń, Treatment of a forearm cut wound using localised hyperbaric oxygen therapy – a case report, June 2017 *Annales Academiae Medicae Silesiensis* 71:246-251s

⁴⁶ Sieroń A, Pasek J. OXYBARIA-S – nowatorskie urządzenie do hiperbarycznej terapii tlenowej. *Rehabil w Prakt* 2015; 1: 56.

⁴⁷ Sieroń A. (Ed), Cieślar G. (Ed), 2006. *Basics Of Hyperbaric Medicine*. A-Medica Press, Bielsko-Biała

⁴⁸ D. Białoszewski, E. Bocian, S. Tyski „Ozonoterapia oraz zastosowanie ozonu w dezynfekcji” *POST. MIKROBIOL* 2012

zwiększa płynność krwi, rozpuszczając powstałe skrzepy.⁴⁹ Korzystanie z miejscowej tlenoterapii umożliwia osiągnięcie pozytywnych i szybkich efektów leczenia trudno-
gojących się ran w porównaniu np. z farmakoterapią, która jest metodą inwazyjną oraz jej skuteczność w przypadkach kiedy mamy do czynienia z upośledzonym krążeniem i obrzękiem wokół rany, jest obniżona. Dostęp poprzez naczynia krwionośne przy owrzodzeniach jest blokowany przez obrzęk tkanek, w związku z powyższym to hiperbaryczna tlenoterapia miejscowa ma możliwość regeneracji tkanek. Przykład stosowania lokalnej tlenoterapii hiperbarycznej przedstawiono na zdjęciu – rysunek 5.



Rysunek 5. Komora tlenoterapii miejscowej OXYBARIA—S.⁵⁰

⁴⁹ <http://drpokrywa.pl> Dostęp: 12.04.2022

⁵⁰ International Journal of Environmental Research and Public Health, *Thermal Effects of Topical Hyperbaric Oxygen Therapy in Hard-to-Heal Wounds—A Pilot Study*
Teresa Kasprzyk-Kucewicz, Armand Cholewka, **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Romualda Mucha,
Michał Relich, Marek Kawecki, Karolina Sieroń, Patrycja Onak, Agata Stanek

3. Podstawy fizyczne tlenoterapii hiperbarycznej HBOT

3.1. Gaz doskonały

Każdy gaz rzeczywisty posiada właściwości zbliżone do gazu doskonałego. Poniższy wzór opisuje stan danej masy gazu biorąc pod uwagę parametry takie jak ciśnienie, objętość, oraz temperaturę.

Prawo to nazywane jest równaniem stanu znane również jako równanie Clapeyrona i odnosi się do gazu doskonałego, opisując zależność między wyżej wymienionymi wartościami.⁵¹

$$pV = nRT$$

gdzie:

p – ciśnienie danego gazu,

V – objętość gazu,

n – liczba moli,

R – stała gazowa, która wynosi 8,314 [J/K*mol].

Gaz doskonały jest abstrakcyjnym modelem gazu spełniającym poniższe warunki :

- gaz składa się z identycznych cząsteczek,
- cząsteczki gazu są w ciągłym chaotycznym ruchu,
- zderzenia cząsteczek gazu są sprężyste,
- siły działają na cząsteczki tylko w momentach zderzeń,
- całkowita ilość cząsteczek jest bardzo duża
- objętość cząsteczek jest pomijalna, w porównaniu z objętością gazu.⁵²

⁵¹ D. Halliday, R. Resnick, Walker, *Podstawy fizyki*, PWN 2006

⁵² A.Z.Hryniewicz, E.Rokita, „Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii”, PWN Warszawa 2000

3.2 Prawo Boyle'a Mariotte'a

Prawo Boyle'a Mariotte'a opisuje zachowanie gazu lub mieszaniny gazów w przemianie izotermicznej, która głosi iż objętość danej masy gazu w stałej temperaturze jest odwrotnie proporcjonalna do jego ciśnienia.

$$p \propto 1 / V$$

lub

$$pV = \text{const}$$

Zasada działania tlenoterapii hiperbarycznej w głównej mierze opiera się na prawach fizyki. Jednym z ważniejszych praw opisujących procesy zachodzące podczas sesji terapeutycznych jest właśnie prawo Boyle'a Mariotte'a.⁵³

Odnosząc się do tlenoterapii hiperbarycznej, w trakcie leczenia wraz ze wzrostem ciśnienia dochodzi do zmniejszenia objętości pęcherzyków gazu. Dzięki temu objętość gazu powodująca zator w naczyniu przesuwa się do naczyń o mniejszej średnicy zmniejszając rozmiar niedokrwienia.⁵⁴

3.3 Prawo Williama Henry'ego

Omawiając rozpuszczalność gazów w cieczach, należy opisać prawo Henry'ego, które wydaje się być najistotniejszym prawem fizycznym w tlenoterapii hiperbarycznej i głosi iż ilość gazu rozpuszczonego w danej cieczy jest w warunkach izotermicznych wprost proporcjonalna do jego ciśnienia parcjalego, mianowicie:

$$C = kp$$

gdzie:

C – stężenie rozpuszczonego gazu,

k – współczynnik rozpuszczalności gazu,

p - ciśnienie parcjale rozpuszczonego gazu.

⁵³ B. Szymańska, M. Kawecki, G. Knefel., *Kliniczne aspekty hiperbarii tlenowej*, Wiadomości Lekarskie 2006, LIX, 1-2

⁵⁴ A. Cholewka, G. Knefel, M. Kawecki, M. Nowak, A. Stanek, A. Sieroń, Z. Drzazga, Thermal Imaging and TC Oximetry Measurements of Hyperbaric Oxygen Therapy (HBO) Effects on Trophic Ulceration of the Tibias

Zgodnie z powyższym wzorem, ilość gazu jaka rozpuści się w płynie w danej temperaturze jest wprost proporcjonalna do ciśnienia parcjalego gazu będącego w kontakcie z tym płynem. Gdy zwiększamy ciśnienie gazu nad roztworem w określonej temperaturze, mamy do czynienia ze zwiększaniem ilości gazu rozpuszczonego w danej cieczy. Podobnie wewnątrz komory hiperbarycznej wzrost ciśnienia atmosferycznego powoduje zwiększoną rozpuszczalność tlenu we krwi oraz w tkankach które są wysoce uwodnione.

W naszym organizmie tkanki miękkie w większości składają się z cząsteczek wody. W związku z powyższym podczas terapii HBOT, możliwe jest przedostanie się cząsteczek gazów a przede wszystkim tlenu do tkanek, uruchamiając tym samym różne procesy obronne i regeneracyjne.⁵⁵

3.4 Prawo Daltona

Prawo Daltona znane jako prawo ciśnień parcjalnych, opisuje całkowite ciśnienie wywierane przez mieszaninę gazów, która jest równa sumie ciśnień cząstkowych (parcjalnych) gazów tworzących daną mieszaninę.

Uwzględniając stałe warunki objętości i temperatury, prawo to opisywane jest w następujący sposób:

$$p = \sum_{i=0}^n p_{gi}$$

gdzie:

p – ciśnienie mieszaniny gazów,

p_g – ciśnienie cząstkowe (parcjalne) składnika gazu.

Każdy ze składników mieszaniny gazowej oddziałuje niezależnie. Takie indywidualne ciśnienie nazywane jest ciśnieniem parcjaleym [pp]. Biorąc po uwagę mieszaninę gazów jaką jest powietrze (tlen 21%, azot 78%) pod ciśnieniem atmosferycznym 1[at] każdy ze składników wywiera ciśnienie parcjale odpowiednio w wysokości (0,21[at], 0,78[at]).

⁵⁵ Sieroń A. (Ed), Cieślak G. (Ed), 2006. *Basics Of Hyperbaric Medicine*. A-Medica Press, Bielsko-Biała

3.5 Prawo Ficka

Proces rozprzestrzeniania cząsteczek w danym ośrodku będący konsekwencją chaotycznych zderzeń cząsteczek dyfundującej substancji między sobą a cząsteczkami otaczającymi go ośrodka nazywa się dyfuzją.⁵⁶

Zjawisko to opisują prawa Ficka, który powiązał dyfuzję z procesem wyrównywania się stężeń. Prędkość dyfuzji jest wprost proporcjonalna do gradientu stężenia substancji dyfundującej.

$$\frac{dm}{dt} = -D \cdot A \cdot \left(\frac{dC_g}{dx}\right)$$

gdzie:

$\frac{dm}{dt}$ - szybkość dyfuzji;

D – współczynnik dyfuzji;

A – wielkość powierzchni, gdzie następuje kontakt;

$\frac{dC_g}{dx}$ - gradient stężenia.

W odniesieniu do gazów oddechowych, szybkość ich dyfuzji jest proporcjonalna do współczynnika dyfuzji w płynach komórkowych i ustrojowych.⁵⁷

Współcześnie prawa te wykorzystywane są w modelowaniu procesów dyfuzji w farmakologii, neuronach, tkankach, a nawet w domieszkowaniu półprzewodników.⁵⁸

⁵⁶ A. Pilawski, Podstawy biofizyki.

⁵⁷ A.Z. Hrynkiewicz, E.Rokita, „Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii”, PWN Warszawa 2000

⁵⁸ Fick A.E.: Über diffusion. Prog. Ann, 94 (1855) 59

4. Problematyka trudno-gojących się ran w obrębie kończyn dolnych

4.1 Etiologia ran przewlekłych

Powstanie rany poprzedza uraz mechaniczny, uszkodzenie warstw powierzchniowych skóry wskutek zmian troficznych. W konsekwencji czego, dochodzi do przerwania ciągłości skóry.⁵⁹

Leczenie ran przewlekłych wciąż stanowi wyzwanie dla współczesnej medycyny, mimo dostępności środków farmakologicznych i możliwości wykorzystania różnych sposobów leczenia. Aktualnie szacuje się, że na świecie problem ten dotyka około 1,5% populacji a nawet 3% powyżej 60 roku życia.⁶⁰

Z uwagi na starzejące się społeczeństwo w Polsce częstotliwość występowania ran przewlekłych stale rośnie. Szacuje się, iż na ten moment pacjentów cierpiących na to schorzenie jest około 500 tysięcy.

Szereg chorób towarzyszących takich jak niewydolność żylna, otyłość, cukrzyca, miażdżyca predysponują do występowania ran przewlekłych. Manifestują się w głównej mierze pod postacią owrzodzeń (żylnych i tętniczych) goleni, jako zespół stopy cukrzycowej jak również odleżyn i ran nowotworowych.⁶¹

Wedle definicji medycznej rana przewlekła to taka, której proces gojenia nie przebiega prawidłowo tj. zgodnie z fizjologicznymi etapami:

Proces prawidłowego leczenia przebiega 4 fazowo:

- faza homeostazy,
- faza zapalenia,
- faza proliferacji,
- faza przebudowy.

⁵⁹ Cieślak G, Nowak M, Kawecki M, Glinka M, Sieroń A. Zastosowanie zmiennych pól magnetycznych w leczeniu ran. *Leczenie Ran* 2005; 2: 99-106.

⁶⁰ Krasowski G. Leczenie ran przewlekłych. Cz. I. Definicja, etiologia, epidemiologia, fizjologia i patofizjologia gojenia się ran. Dostępne na: www.mp.pl

⁶¹ Szewczyk MT, Jawień A. Leczenie ran przewlekłych. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2012

W przypadku ran przewlekłych proces ten zostaje zahamowany na etapie zapalnym lub proliferacyjnym i trwa powyżej 6-8 tygodni.⁶² W związku z powyższym czas gojenia tkanek zostaje wydłużony w czasie. Zaburzenia te często wynikają nie tylko z etiologii ran, ale w głównej mierze przyczyna leży po stronie chorób ich wywołujących.

Powstają one w wyniku zaburzeń funkcjonowania układu immunologicznego oraz niewydolności układu krążenia, co w sposób bezpośredni zaburza zaopatrzenie tkanek w tlen i składniki odżywcze. Jakikolwiek zmiany zachodzące w mikrokrążeniu i krążeniu obwodowym mogą przyczyniać się do naruszenia ciągłości skóry, niszcząc również tkanki położone głębiej.⁶³

W ranach przewlekłych, najczęściej już na etapie fazy zapalnej dochodzi do zaburzeń fizjologicznych procesu gojenia rany. W konsekwencji prowadzi to do upośledzenia całego cyklu naprawy tkanek i tworzenia zmian troficznych skóry. Upośledzenie metabolizmu oraz obecność w takich miejscach zbędnych produktów przemiany materii mogą wpływać na rozwój martwicy, czego następstwem jest rana przewlekła m.in. owrzodzenie.⁶⁴

Ze względu na czynniki wywołujące (przyczynę) można podzielić rany na kilka grup:⁶⁵

Przyczyny egzogenne:

- termiczne – rany oparzeniowe, odmrożenia,
- chemiczne – oparzenia chemiczne,
- mechaniczne – rany kłute, cięte, postrzałowe itp.
- elektryczne – rany oparzeniowe.

Przyczyny endogenne:

- owrzodzenia podudzi, upośledzenia krążenia, stopa cukrzycowa, odleżyny.⁶⁶

⁶² Vasudevan B. Venous leg ulcers: Pathophysiology and classification. *Indian Dermatol Online J* 2014; 5: 366-370

⁶³ Windak A, Chlabicz S, Mastalerz-Migas A (red.). *Medycyna rodzinna – podręcznik dla lekarzy i studentów*. Termedia, Poznań 2015.

⁶⁴ Oszkinis G., Gabriel M., Majewski W, Pukacki F, *Leczenie ran trudno gojących się*, Blackhorse, Warszawa, 2006

⁶⁵ Homans J, *The etiology et treatment of varicose ulcer of the leg*, Surg Gynecol Obstet 1917

⁶⁶ Negus D., Coleridge Smith P.D, *Diagnostyka różnicowa owrzodzeń podudzi, W: Owrzodzenia podudzi-diagnostyka i leczenie* (red. Negus D., Coleridge Smith P.D, Bergan J.J.) Alfa-medica Press, Bielsko-Biała, 2006

4.2 Fizjologia i patofizjologia procesu gojenia się ran

Gojenie się ran jest złożonym procesem odnawiania struktur komórkowych oraz przywracania warstw tkanek. W ludzkim organizmie proces ten polega na uzupełnieniu zmienionego chorobowo miejsca, łącznotkankową blizną. Ten filogenetyczny bardzo unikalny proces samoodnowy jest niespotykany w wielu wyspecjalizowanych narządach naszego organizmu. W toku tego procesu zachodzą złożone reakcje chemiczne i biologiczne. Wyróżnia się 4 fazy gojenia się ran.⁶⁷

Wyszczególnione poniżej etapy nakładają się na siebie w czasie i przestrzeni:⁶⁸

1. Faza homeostazy

Bezpośrednio po uszkodzeniu tkanki uruchamiają się procesy, które mają za zadanie przywrócić stan homeostazy. W ciągu pierwszych kilku godzin od zranienia rozpoczyna się faza zapalna, która utrzymuje się przez około 2-4 dni.

2. Faza zapalna to etap występowania objawów charakterystycznych dla stanu zapalnego, pojawia się wzrost temperatury w obszarze chorobowym. Na skutek działania histaminy, prostaglandyn, leukotrienów dochodzi do rozszerzenia naczyń krwionośnych, zwiększa się ich przepuszczalność, klinicznie manifestuje się to obrzękiem oraz zaczerwienieniem okolic rany. Rozpoczyna się aktywacja układu krzepnięcia. Bardzo często na tym etapie dochodzi do zakażeń, tworzenia się tkanek martwiczych, naczynia krwionośne zostają zablokowane. Prowadzi to do skurczu naczyń krwionośnych i aktywacji układu krzepnięcia, wskutek czego tworzą się skrzepy.⁶⁹

W kontekście prowadzonych w ramach niniejszej pracy badań obie fazy mogą być widoczne, a raczej efekty procesów zachodzących podczas dwóch pierwszych faz na termogramach w postaci lokalnego wzrostu temperatury.

⁶⁷ McDaniel JC, Browning KK. Smoking, chronic wound healing, and implications for evidence-based practice. *J Wound Ostomy Continence Nurs* 2014; 41:415-423

⁶⁸ Arya AK, Tripathi R, Kumar S, Tripathi K. Recent advances on the association of apoptosis in chronic non healing diabetic wound. *World J Diabetes* 2014; 5:756-762.

⁶⁹ W. Twardokęs, A. Kołodziej, A. Słęczak „Opis mechanizmu gojenia się żylnego owrzodzenia goleni” Evereth Publishing 2015

3. Faza proliferacyjna – na tym etapie rozpoczyna się proces tworzenia nowej tkanki – neowaskularyzacji. Pobudzone fibroblasty przez cytokiny (PDGF, tGF β , FGF, EGF) zaczynają produkować kolagen, co prowadzi do tworzenia ziarniny. Ziarnina jest postacią tkanki łącznej i stanowi prekursor przyszłej blizny. Powyższe działania chronią powierzchnię rany przed zanieczyszczeniem i utratą wody. Komórki nabłonkowe występujące w pierwotnym brzegu rany rozpoczynają wytwarzać nową populację migrujących komórek. Bodźcem odpowiedzialnym za migrację oraz proliferację nabłonka najprawdopodobniej jest brak kontaktu pomiędzy sąsiadującymi komórkami oraz uwalnianie cytokin.⁷⁰

4. Faza naprawcza – jest ostatnią fazą całego procesu gojenia się ran. Nazywana również fazą włóknienia oraz remodelingu. Rozpoczyna się pomiędzy 3 -7 dniem od powstania rany. Na tym etapie ziarnina zastępowana jest tkanką włóknistą a sam obszar rany ulega obkurczeniu i zmniejsza swój obszar.⁷¹ Cały proces gojenia się rany trwa, dopóki komórki nie osiągną stabilizacji tkankowej, czyli całkowitego zagojenia się rany. Na odpowiedni przebieg tego procesu ma nie tylko rodzaj, etiologia i specyfika rany, ale również stan organizmu, choroby współistniejące i sposób leczenia.⁷²

Faza 3 i 4 to kolejne okresy gojenia się rany podczas których najpierw spodziewany jest wzrost metabolizmu związany z powstawaniem nowej tkanki i odbudową komórkową a następnie w fazie 4 powinno być obserwowane obniżenie temperatury wskutek poprawy termoregulacji i ustalenia się pewnej równowagi metabolicznej w naprawionych tkankach.

⁷⁰ Scotton MF, Miot HA, Abbade LP. Factors that influence healing of chronic venous leg ulcers: a retrospective cohort. *A Bras Dermatol* 2014; 89: 414-422.

⁷¹ Arya AK, Tripathi R, Kumar S, Tripathi K. Recent advances on the association of apoptosis in chronic non healing diabetic wound. *World J Diabetes* 2014; 5:756-762.

⁷² McDaniel JC, Browning KK. Smoking, chronic wound healing, and implications for evidence-based practice. *J Wound Ostomy Continence Nurs* 2014; 41: 415-423.

4.3 Owrzodzenia troficzne podudzi – etiologia.

Szczególnie skomplikowanym oraz najczęstszym rodzajem ran są owrzodzenia żyłne. Z uwagi na ich specyfikę, proces leczenia trwa bardzo długo. Owrzodzenia troficzne to przewlekłe, bolesne rany, które w dużej mierze kolonizowane są przez wiele szczepów drobnoustrojów. Zwykle zlokalizowane są na przysródkowej powierzchni goleni, natomiast u każdego pacjenta lokalizacja rany może być różna. Charakteryzują się nieregularnym kształtem, zmianami troficznymi i mogą osiągnąć rozległość nawet na całą powierzchnię podudzi.⁷³ Często widoczne są również powierzchnie naczyń krwionośnych z wstępującym odczynem zapalnym wokół rany. Za główne przyczyny owrzodzeń troficznych podudzi uważa się powikłania nieleczonej zakrzepicy żyłnej oraz przewlekłej niewydolności żyłnej. Nadmierne rozciągnięcie ścian żył oraz zniszczenie zastawek prowadzi do zastojowi krwi w żyłach powierzchniowych. W związku z powyższym prowadzi to do niewystarczającego utlenowania tkanek, zahamowania procesów odżywiania skóry, wskutek czego tworzy się rana owrzodzeniowa.⁷⁴

Występowanie tego schorzenia częściej dotyka płęć żeńską, utrzymując się nawet do 9 miesięcy i również często charakteryzują się nawrotami.⁷⁵ W dużej mierze są one wynikiem powikłań niewydolności żyłnej o złożonej etiologii. Przebieg choroby jest zwykle bardzo dynamiczny, co wpływa na konieczność leczenia wielopłaszczyznowego. Zdecydowana większość osób posiada choroby współistniejące, np. zakażenia bakteryjne.⁷⁶

Proces gojenia się ran przewlekłych pochodzenia żylnego jest złożoną terapią zależną od rodzaju, etiologii oraz specyfiki rany. Głównym celem terapii jest zmniejszenie objętości rany oraz jej całkowite zniwelowanie. W procesie leczenia istotną informacją jest właśnie objętość rany. Na etapie naskórkowania pole powierzchni rany ulega zmniejszeniu, w związku z powyższym, jeśli terapia przebiega prawidłowo, można oceniać dynamikę

⁷³ Sibbald R.G., Williamson D., Orsted H.L., et al., *Preparing the Wound Bed-Debridement, Bacterial Balance, and Moisture Balance. Ostomy Wound Mnage* 2000;46(11):14-22, 24-8, 30-5.

⁷⁴ Ciecierski M, *Obraz kliniczny przewlekłych zaburzeń żylnych, W: Przewlekłe zaburzenia żyłne*, (red. JawieńA.). Termedia Wydawnictwo, Poznań2006

⁷⁵ Homans J, *The etiology et treatment of varicose ulcer of the leg*, Surg Gynecol Obstet 1917

⁷⁶ M. Kózka, *Żyłne owrzodzenia podudzi*, Magazyn Medyczny – Lekarz Rodzinny 3/2002.

zmian obszaru rany. W badaniach naukowych opisano, iż szybkość gojenia się ran, opiera się właśnie na podstawie parametru jakim jest pole powierzchni.^{77, 78}

Szacuje się, iż, 70% wszystkich owrzodzeń stanowią rany o etiologii żylniej. Pomimo powyższego, należy wspomnieć o owrzodzeniach powstałych na tle niedokrwiennej (ok. 8%), o ranach wynikłych w przebiegu cukrzycy (ok. 3%), oraz w wyniku urazów (ok. 2%). Pozostałe (ok. 13%) stanowią rany mieszane oraz (ok. 8%) owrzodzenia na tle przebiegu chorób takich jak reumatoidalne zapalenie stawów, nadciśnienie tętnicze oraz oparzenia, odmrożenia.⁷⁹

Proces naskórkowania zmniejszający pole powierzchni rany jest procesem strukturalnym który ocenia planimetria. Wydaje się, iż zastosowanie termowizji jako uzupełniającej techniki funkcjonalnej pokazującej obszar występowania podwyższonej temperatury czyli wyższego metabolizmu może dać dodatkowe informacje opisujące dynamikę procesów naprawczych i ich występowanie oraz intensywność.

5. Metody oceny zaawansowania procesów chorobowych i ich zmian podczas leczenia w przewlekłych oraz trudno-gojących się ranach

5.1 CEAP – System klasyfikacji przewlekłej niewydolności żylniej

W wyniku stale rosnącej skali zachorowań na niewydolność żylną w roku 1988 w Stanach Zjednoczonych opracowano standardy klasyfikacji chorób żylnych.

System ten nazwano skalą CEAP i uznano ją za najbardziej uniwersalną na całym świecie. Opracowano go we współpracy towarzystw Society for Vascular Surgery oraz International Society for Cardiovascular Surgery⁸⁰. Zadaniem powyższego systemu jest określenie stopnia zaawansowania choroby oraz podział klasyfikacji objawów wedle czterech grup:

⁷⁷ „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry” **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Ewa Firganek, Grzegorz Knefel, Marek Kawecki, Justyna Glik, Mariusz Nowak, Karolina Sieroń, Agata Stanek // *J. Therm. Anal. Calorim.* - Vol. 141, iss. 4 (2020), s. 1465-1475 (DOI: 10.1007/s10973-019-09129-0)

⁷⁸ **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka „Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi” 2018, vol. 7, nr 3, Inżynier Fyzyk Medyczny 4 pkt MNISW

⁷⁹ Negus D., Coleridge Smith P.D, Diagnostyka różnicowa owrzodzeń podudzi, W: Owrzodzenia podudzi diagnostyka i leczenie (red. Negus D., Coleridge Smith P.D, Bergan J.J.) Alfa-medicaPress, Bielsko-Biała, 2006

⁸⁰ Miłek T, Goliszewski J, Kwiatkowski W, [i wsp.]. Niewydolność żylna kończyn dolnych według klasyfikacji CEAP u kobiet w ciąży. *Prze Flebol.* 2001, 9, 23-25.

- objawy kliniczne (Clinical)
- czynniki etiologiczne (Etiological)
- lokalizacje anatomiczne (Anatomical)
- przyczyny patofizjologiczne (Pathophysiological)

Ponadto, klasyfikacji podlega również ocena wizualna uwzględniająca wygląd skóry, obecność żylaków, obrzęków, owrzodzeń oraz teleangiektazji⁸¹.

<i>Grupa chorobowa</i>	<i>Objawy kliniczne</i>
C0	brak widocznych zmian skórnych
C1	teleangiektazja, zaczerwienienia w okolicy stawów skokowych, żyły siatkowate
C2	Żylaki
C3	obecność obrzęków bez zmian skórnych
C4	zmiany skórne zależne od chorób żył
C5	zmiany skórne ze śladami po wygojonych owrzodzeniach żylnych
C6	zmiany skórne jak w grupach C1 do C4 i czynne owrzodzenia żyłne

Tabela 1. Podział kliniczny.

<i>Grupa chorobowa</i>	<i>Objawy etiologiczne</i>
E _C	zmiany wrodzone układu żylnego
E _P	zmiany pierwotne, patologiczne układu żylnego, bez identyfikacji przyczyny ich powstania
E _S	wtórne przyczyny niewydolności żylniej o znanej etiologii (pozakrzepowe, pourazowe, inne)

Tabela 2. Podział etiologiczny.

⁸¹ Miłek T, Miłek T, Goliszewski J, [i wsp.] *Przewlekła niewydolność żylna kończyn dolnych u kobiet w ciąży wg klasyfikacji CEAP. Med Dypl.* 2002, 11/6, 139-148.

<i>Grupa chorobowa</i>	<i>Lokalizacja anatomiczna – objawy</i>
żyły powierzchniowe	teleangiektazje żyła odpiszczelowa powyżej kolana, żyła odpiszczelowa poniżej kolana, żyła odstrzałkowa, żyły uda i goleni boczne
Żyły głębokie	żyła główna dolna, żyła biodrowa wspólna, żyła biodrowa wewnętrzna, żyła biodrowa zewnętrzna, żyły miednicy i żyły jajnikowe i jądrowe, żyła udowa wspólna, żyła udowa głęboka, żyła udowa powierzchowna, żyła podkolanowa, żyły podudzia, żyły śródmięśniowe
Żyły przeszywające	uda lub podudzia

Tabela 3. Podział anatomiczny.

<i>Grupa chorobowa</i>	<i>Objawy patofizjologiczne</i>
P _R	refluks
P _N	niedrożność żył
P _{R, N}	refluks oraz niedrożność żył

Tabela 4. Podział patofizjologiczny.⁸²

⁸² Kaspercak Jarosław¹, Ropacka-Lesiak Mariola², Bręborowicz H. Grzegorz², ¹Oddział Chirurgiczny, Wojewodzki Szpital w Kaliszu, Polska; ² Klinika Perinatologii i Ginekologii, Uniwersytet Medyczny, Poznań, Polska, Definicja, podział oraz diagnostyka przewlekłej niewydolności żylniej – część II.

5.2 Ocena wizualna ran

Rozpoczynając leczenie u pacjentów cierpiących na trudno-gojące się rany, w pierwszej kolejności lekarz dokonuje oceny wizualnej chorego uwzględniając etiologię rany. Z uwagi na fakt, iż cały proces gojenia się ran jest procesem dynamicznym, na każdym etapie leczenia należy dokonywać oceny bieżącej, aby zweryfikować postęp terapii. Wybór odpowiedniej metody leczenia powiązany jest ze systematyczną kontrolą obszaru rany, a w szczególności:

- oceną stopnia zaawansowania, głębokości oraz objętości rany,
- oceną występowania stanu zapalnego,
- oceną obecności tkanek martwiczych,
- oceną intensywności wysięku,
- oceną zakresu zakażenia rany.⁸³

Lekarz prowadzący biorąc pod uwagę wiedzę, doświadczenie oraz wszelkie wytyczne klasyfikuje ranę oceniając czy występują powyższe charakterystyczne symptomy odpowiedzialne za stan zapalny, martwicę, widoczne wysięki czy elementy martwicy. W przypadku tego schorzenia, istotne jest postawienie odpowiednio diagnozy oraz oceny rany, aby rozpocząć i prowadzić efektywne i skuteczne leczenie.

Obecność ciał obcych w obrębie rany, drobnoustrojów czy tkanki martwiczej, wpływa negatywnie na utrzymanie procesów gojenia się rany. Niestety nie wszystkie procesy zachodzące w obrębie rany jesteśmy w stanie zobaczyć gołym okiem. W związku z powyższym wydaje się koniecznym, aby ułatwić proces diagnostyczny pacjentom, aby skrócić drogę całej rekonwalescencji. W trakcie podjętego leczenia prowadzonego przy zastosowaniu tlenoterapii hiperbarycznej, lekarz pomiędzy sesjami dokonuje oceny wizualnej rany, aby w porę móc podjąć decyzję o zmianie leczenia, przerwaniu lub jego kontynuacji.⁸⁴

Wydaje się, iż w tym procesie oceny rany zastosowanie termowizji może być najlepszym rozwiązaniem pomagającym w ocenie aktywności i zakresu występowania stanu zapalnego.

⁸³ „Owrzodzenia żyłne jako problem interdyscyplinarny”, Spondylus, 2011, Maria T. Szewczyk, Arkadiusz Jawień

⁸⁴ Jawień A., rybak Z., Cencora A., Szewczyk M.T., Górkiewicz-Petkow A., Oszkinis G., Wytyczne Polskiego Towarzystwa Leczenia Ran w sprawie gojenia owrzodzeń żylnych goleni. Leczenie Ran 2006;3(4):103-112.

5.3 Oksymetria przezskórna (tcp02)

Oksymetria przezskórna to badanie nieinwazyjne, polegające na ocenie ilości tlenu dyfundującego z naczyń włosowatych, przez naskórek aż do elektrody zbierającej informacje o stężeniu tlenu w tkankach.⁸⁵ Dokładniej mówiąc jest to pomiar wysycenia oksyhemoglobiny tlenem. Biorąc pod uwagę liczne procesy biologiczne i chemiczne w naszym organizmie, zawartość tlenu jest bardzo ważnym składnikiem, aby procesy te mogły przebiegać pomyślnie.⁸⁶

Obecnie jest to również jedna z metod wykorzystywanych w diagnostyce oraz monitorowaniu leczenia trudno-gojących się ran podudzi, w szczególności w terapii prowadzonej w komorach hiperbarycznych. Zastosowanie terapii HBOT prowadzi do wzmożonej prężności tlenu w tkankach, co może zostać zaobserwowane przy pomocy oksymetrii przezskórnej. Najczęściej do pomiaru stosuje się czujniki posiadające spolaryzowane elektrody (tzw. elektrody Clarka), które umożliwiają określenie aktualnej ilości tlenu w danej objętości.⁸⁷ Elektrody te przykładają się do skóry w wyznaczonych miejscach, w zależności od umiejscowienia rany, natomiast nigdy w jej bezpośrednim obszarze. Do wykonania badania skóra musi być odpowiednio przygotowana. Należy unikać miejsc z owłosieniem oraz widocznymi obrzękami, stanami zapalnymi, czy miejscami zmienionymi chorobowo. Rozgrzana elektroda prowadzi do podgrzania skóry, co prowadzi do poszerzenia naczyń krwionośnych, zwiększonego przepływu krwi i prężności tlenu. Wynik pomiaru uznaje się za prawidłowy, jeżeli wartość stężenia tlenu znajduje się w zakresie 40 – 60 [mmHg]. Jako interpretację wyniku omawia się właściwie pomiar ciśnienia parcjalnego tlenu. W sytuacji, kiedy pomiaru dokonujemy w obszarze tkanek niedotlenionych, co ma miejsce we wspomnianych powyżej trudno-gojących się ranach, wartości stężenia tlenu zazwyczaj nie przekraczają 30[mmHg]. Końcową wartość wysycenia hemoglobiny zapisuje się w postaci procentowej jako poziom tzw. saturacji.

⁸⁵ Cholewka Armand, Kniefel Grzegorz, Stanek Agata, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Sieroń Aleksander, Drzazga Zofia: *Thermal imaging and TC oximetry measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura*. J J Therm Anal Calorim 2012; 108(1), 25-31.

⁸⁶ Levy BI, Ambrosio G, Pries AR, et al. Microcirculation in hypertension: a new target for treatment? *Circulation*. 2001; 104(6): 735–740.

⁸⁷ Forum Medycyny Rodzinnej 2017, tom 11, nr 2, 80–88, „Przezskórny pomiar prężności tlenu w ocenie stanu mikrokrążenia”, Magdalena Hoffmann, Jolanta Neubauer-Geryk, Grzegorz Kozera, Leszek Bieniaszewski.

5.4 Ocena planimetryczna

Planimetria jest metodą analizującą pole powierzchni rany podczas całego procesu leczenia za pomocą tlenoterapii hiperbarycznej. Technika ta polega na wykonaniu zdjęcia obszaru rany aparatem fotograficznym wbudowanym w urządzenie (tablet). Oprogramowanie ma możliwość zastosowania wzorca wymiaru i w związku z powyższym w procesie przetwarzania zdjęcia w programie można dokonać pomiaru pola powierzchni, objętości, cyrkularności czy średnicy.⁸⁸

Analizując proces leczenia ran przewlekłych, wydaje się, iż prowadzenie dokumentacji fotografowania obszaru rany jest wystraszające. W praktyce jednak informacja ta jest głównie związana z dynamiką zmiany strukturalnej rany i nie niesie ze sobą informacji o zmianach metabolicznych zachodzących głębiej.⁸⁹

Planimetria jest obecnie drugą, najczęściej stosowaną metodą rejestrowania postępów terapii. Aby skutecznie prowadzić analizę na poziomie strukturalnym, należy wykonywać zdjęcia kontrolnie systematycznie, mając na uwadze trudności związane z umiejscowieniem rany, jej obszarem oraz rozległością na powierzchni goleni⁹⁰.

Zdecydowana większość ran zlokalizowana jest nad kostką przysródkową przybierając dość nieregularne kształty, często obejmujące nawet całą powierzchnię podudzi. Leczenie prowadzone przy pomocy HBOT ma za zadanie zmniejszenie pola powierzchni rany lub całkowite jej zniwelowanie. W związku z powyższym informacja o objętości rany oraz jej zmianach monitorowanych po każdej sesji w komorze hiperbarycznej niesie bardzo ważną informację o postępach leczenia. Ważnym elementem planimetrii jest precyzyjność wykonania pomiaru, możliwość archiwizacji danych oraz nieinwazyjność w wykonywaniu pomiarów co jest niezwykle ważne w monitorowaniu trudno-gojących się ran.⁹¹

⁸⁸ Kałuża G., Rybak Z., Pupka A., Jurkiewicz P., Patrzalak D., Langer M., Szyber P., „*Własna metoda oceny skuteczności leczenia owrzodzeń żylnych golenia na podstawie zmian ich pola powierzchni*”.

⁸⁹ „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry” **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Ewa Firganek, Grzegorz Knefel, Marek Kawecki, Justyna Glik, Mariusz Nowak, Karolina Sieroń, Agata Stanek.// *J. Therm. Anal. Calorim.* - Vol. 141, iss. 4 (2020), s.

⁹⁰ Biolik G., Kostyra J., Nowakowski P., Kuczmik W., Ziąja D., Ziąja K., *Zespół pozakrzepowy – aktualny stan wiedzy na temat patomechanizmu choroby i nowych aspektów leczenia.* *Chir Pol* 2006;8(2):156-163.

⁹¹ Gorin D.R., Cordts P.R., LaMorte W.W., Manzoian J.O., *The influence of wound geometry on the measurement of wound healing rates in clinical trials.* *J Vasc Surg* 1996;23(3):524-528.

6. Temperatura powierzchni ciała i jej znaczenie w procesie diagnozowania i oceny efektów leczenia przewlekłych oraz trudno- gojących się ran

Temperatura z definicji jest to wielkość fizyczna opisująca stan energetyczny danego układu lub jego zbioru. Zbiorem takich układów jest nasz organizm. Jako fizyczny obiekt jak wszystko, co nas otacza posiadamy temperaturę wyższą niż zero bezwzględne, więc emitujemy promieniowanie podczerwone.⁹²

Już w starożytności, Hipokrates rozpoczął swoje obserwacje dotyczące różnic temperatury ludzkiego ciała. Badania, które prowadził doprowadziły go do zrozumienia, iż temperatura powierzchni ciała niesie ważne informacje o stanie naszego zdrowia.

Natomiast rozwój obrazowania termicznego w tym zakresie rozpoczął się dopiero na początku XX wieku. Obecnie możemy dostrzec jak rozwój termowizji wpłynął na pomiar temperatury, dzięki czemu możemy w sposób wysoce zadowalający odzwierciedlać procesy zachodzące na powierzchni skóry jak i w pewnym przybliżeniu wewnątrz.⁹³

Człowiek jak wszystkie organizmy żywe wykazuje stałocieplność, która jest konieczna do poprawnego funkcjonowania wszystkich układów naszego organizmu. Stałość temperatury odnosi się wyłącznie temperatury wewnątrz ciała. Bez względu na wszelkie czynniki zewnętrzne, u zdrowego człowieka wartość temperatury wynosi między 36,00–37,2[°C]. Wszelkie odstępstwa od powyższego zakresu mogą oznaczać stany zapalne, zmiany chorobowe jak w przypadku gorączki czy wyziębienia organizmu. Zmiennocieplność dotyczy głównie kończyn oraz warstw powierzchniowych, są one w dużym stopniu zależne od warunków zewnętrznych, które wpływają na wartości temperatury tkanek powierzchniowych. Powierzchniowa zmiennocieplność prowadzi do utrzymania stałej temperatury naszego organizmu, dzięki mikrokrążeniu oraz zachodzącym zmianom procesów metabolicznych na poziomie komórkowym, które wytwarzają ciepło.

W związku z powyższym pomiar temperatury stanowi cenną informację, za pomocą której możemy w pewnym zakresie oceniać dynamikę procesów chorobowych zachodzących na powierzchni ciała w tym np. procesy gojenia się ran przewlekłych, gdyż

⁹² E.F.J. Ring, K. Ammer: The technique of infrared imaging in medicine, *Thermology International*, vol. 10(1), 2000, s. 7-14.

⁹³ I. Simon, *Promieniowanie Podczerwone*, PWN, Poznań 1968

na każdym etapie gojenia się rany występują zmiany odzwierciedlając się w wartościach temperatur.

Cechy fizjologiczne dotyczące stałocieplności organizmów żywych oraz emisyjność tkanek umożliwia prowadzenie diagnostyki obrazowej w zakresie wizualizacji rozkładu temperatury jaką jest termowizja⁹⁴.

6.1 Termoregulacja

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, utrzymanie odpowiedniej temperatury ciała jest bardzo ważne i wymaga ciągłej wymiany ciepła pomiędzy otoczeniem a naszym organizmem. Istota zastosowania termowizji w medycynie nie byłaby możliwa, gdyby nie istnienie zjawiska termoregulacji, na które składa się wiele procesów wymiany ciepła między organizmem a otoczeniem⁹⁵.

Proces, dzięki któremu kontrolujemy zakres optymalnej temperatury to termoregulacja biologiczna, która jest kontrolowana przez podwzgórze. Przednia część podwzgórza odpowiedzialna jest za regulację start ciepła oraz reakcji w odpowiedzi na te straty, natomiast tylna część podwzgórza odpowiedzialna jest za kontrolę reakcji związanych ze wzrostem temperatury. Wszystkie reakcje związane z termoregulacją naszego organizmu są przekazywane za pomocą termoreceptorów do podwzgórza⁹⁶. Wyróżnia się dwa typy termoregulacji: fizyczną oraz chemiczną. Do termoregulacji fizycznej zalicza się mechanizmy odpowiedzialne za ilość ciepła oddawanego na zewnątrz ciała takie jak parowanie potu oraz reakcje naczynioruchowe.

Chemiczna termoregulacja dostosowuje produkcję ciepła do aktualnego zapotrzebowania. Szczególnie ważna jest w warunkach, gdy jest zimno i oddajemy znacznie więcej ciepła niż go wytwarzamy. W takiej sytuacji w naszym organizmie zwiększa się podstawowa przemiana materii, aby przywrócić równowagę. Kolejnym krokiem jest wzmożone napięcie mięśni szkieletowych oraz odruchowe skurcze znane jako dreszcze. Zwiększają one znacznie ilość wytwarzanego ciepła.

⁹⁴ D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki Tom 2*, PWN Warszawa 2005

⁹⁵ J. Bauer, A. Skrzek, *Fizjologiczne podstawy krioterapii*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 3(2-4), 1998

⁹⁶ G. Straburzyński, A. Straburzyńska-Lupa, *Medycyna fizykalna*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2000

Mechanizmy termoregulacji naszego organizmu stanowią szereg reakcji układu nerwowego, układu krążenia, układu hormonalnego oraz reakcji ogólnoustrojowych.

Reakcje organizmu na podwyższenie temperatury	Reakcje organizmu na obniżenie temperatury
<ul style="list-style-type: none"> • przyspieszona akcja serca, • wydzielanie potu, • rozszerzenie naczyń krwionośnych, • pobudzenie ośrodka hamującego drżenie mięśniowe w śródmózgowiu 	<ul style="list-style-type: none"> • uruchomienie termogenezy drżeniowej, • pobudzenie układu współczulnego, uwalnianie noradrenaliny przyspieszającej metabolizm mięśni i tkanki tłuszczowej, • pobudzenie rdzenia nadnerczy wzmagając metabolizm tkanki tłuszczowej, • wzrost uwalniania hormonów tarczycy przyspieszających metabolizm podstawowy, • skurcz naczyń skórnych

6.2 Sposoby wymiany ciepła

Proces wymiany ciepła, czyli przeniesienia energii pomiędzy układami termodynamicznymi u człowieka zachodzi wskutek różnicy temperatur. Przebywając w warunkach życia codziennego tracimy aż 85% ciepła przez skórę, około 10% tracimy za pośrednictwem dróg oddechowych w procesie ogrzewania wdychanego powietrza oraz parowania z górnych dróg oddechowych. W środowisku termoneutralnym, w którym nie dochodzi do obciążania układu termoregulacyjnego (temperatura około 25[°C]), nie ma przeciągów, nie mając na sobie żadnej odzieży, utrata ciepła następuje:⁹⁷

- poprzez promieniowanie w zakresie 45%-60%,
- poprzez parowanie w zakresie 20%-25%
- poprzez przewodnictwo i konwekcje w zakresie 20%-40%

⁹⁷ „Układ termoregulacji człowieka i wpływ czynników atmosferycznych na odczucia ciepła człowieka” dr hab. n. med. Barbara Nieradko-Iwanicka, Katedra i Zakład Higieny Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

6.2.1 Promieniowanie podczerwone

Główną drogą utraty ciepła przez ludzki organizm jest właśnie promieniowanie podczerwone. Zjawisko to związane jest z emisją energetyczną, która jest zdefiniowana jako iloraz energii emitowanej przez dany obiekt do energii emitowanej przez ciało doskonale czarne. Czynnikiem wpływającym na szybkość strat ciepła jest różnica temperatur ciała oraz otoczenia.

Energię wypromieniowaną przez jednostkę powierzchni, opisuje poniższy wzór:⁹⁸

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda$$

gdzie:

E_{λ} – widmowa zdolność emisyjna liczona po wszystkich długościach fali.

W sytuacji, kiedy straty energii promieniowania cieplnego nie równoważą się przez dostarczenie ciepła z zewnątrz, temperatura ciała obniża się a moc emitowanego promieniowania maleje. Promieniowanie podczerwone oddziałuje z materią na kilka sposobów. Częściowo zostaje zaabsorbowane, częściowo przepuszczone i częściowo odbite.⁹⁹

6.2.2 Parowanie

Utrata ciepła przez parowanie polega na odparowywaniu wody z powierzchni skóry jak również poprzez parowanie z dróg oddechowych wody ustrojowej w trakcie naszego oddychania. Szybkość tej reakcji zależna jest od gradientu wilgotności powietrza i skóry oraz od intensywności ruchów powietrza. U zdrowego człowieka w ciągu doby parowanie mieści się w zakresie 300-700 [ml].

⁹⁸ B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne, PWN 1980

⁹⁹ I. Simon, Promieniowanie Podczerwone, PWN, Poznań 1968

6.2.3 Przewodzenie i konwekcja

Przewodzenie ciepła polega na przekazywaniu energii pomiędzy cząsteczkami w wyniku ich zderzeń. Mechanizm przewodzenia ciepła, ma miejsce pomiędzy obiektami posiadającymi różne wartości temperatur. Przepływ ten zachodzi dla ciał stałych, cieczy oraz gazów, zawsze w kierunku obiektu o temperaturze niższej.

Powyższy proces zdefiniowany jest przy pomocy prawa Fouriera:¹⁰⁰

$$\Phi = -k \cdot \text{grad}T$$

gdzie:

Φ – gęstość strumienia ciepła [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

k - przewodność cieplna materiału [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

$\text{grad}T$ – gradient temperatury [$\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$]

Proces konwekcji polega na przenoszeniu ciepła poprzez ruch materii gazowej lub płynnej. Cząsteczki posiadające większą energię wewnętrzną przemieszczają się w kierunku cząsteczek o energii niższej. Wyróżnia się konwekcję naturalną oraz wymuszoną a samo zjawisko opisuje prawo chłodzenia Newtona:¹⁰¹

$$\Phi = -h (T_s - T_\infty)$$

gdzie:

Φ – gęstość strumienia cieplnego [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

h – współczynnik konwekcji [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

T_s - temperatura ciała stałego [K],

T_∞ - temperatura ośrodka [K].

W odniesieniu do naszego organizmu utrata ciepła, która następuje poprzez konwekcję i przewodnictwo występuje w momencie, gdy temperatura skóry jest wyższa niż temperatura otaczającego nas powietrza. W takiej sytuacji tworzą się tzw. prądy

¹⁰⁰ D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki Tom 2, PWN Warszawa 2005

¹⁰¹ I. Simon, Promieniowanie Podczerwone, PWN, Poznań 1968

konwekcyjne, które mieszają powietrze przylegające do skóry z powietrzem chłodniejszym.

Omawiając procesy wymiany ciepła należy tutaj wspomnieć, iż mechanizm pocenia się stanowi największą i najważniejszą utratę ciepła dla naszego organizmu. W procesie tym podczas odparowania 1 litru potu z powierzchni skóry następuje zużycie aż 2400 [kJ] w przeliczeniu około 573 [kcal]. W warunkach ekstremalnego ciepła wartość odparowywania może wzrosnąć aż do 4 litrów/godzinę z utratą ciepła w wysokości 10000[kJ] (2399 [kcal]).¹⁰²

6.3 Równanie Pennesa

W ludzkim organizmie dla utrzymania równowagi stale zachodzą procesy, których zadaniem jest podtrzymanie możliwie stałej temperatury. Równanie Pennesa opisuje rzeczywiste warunki przepływu ciepła (biociepła) w organizmach żywych.

Równanie to uwzględnia wielkości takie jak: ciepło właściwe tkanki, współczynnik przewodzenia ciepła, wydajność wewnętrznych źródeł ciepła związanych z metabolizmem oraz związanych z perfuzją krwi:¹⁰³

$$c(T) \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \nabla[\lambda(T)\nabla T(x,t)] + Q_{\text{perf}}(x,t) + Q_{\text{met}}$$

gdzie:

λ – współczynnik przewodnictwa cieplnego w tkance [W/mK],

c – ciepło właściwe, w odniesieniu do jednostki objętości [$\frac{J}{m^3 K}$],

Q_{met} - wewnętrzna energia pochodząca z procesów metabolicznych [W/m³],

W powyższym równaniu, występują różne elementy składowe, między innymi związane z perfuzją krwi Q_{perf} , oraz z przemianami metabolicznymi Q_{met} . Składniki perfuzji krwi możemy określić stosując poniższy wzór.

¹⁰² B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne, PWN 1980

¹⁰³ Paruch M., Zastosowanie metod identyfikacji w wybranych zagadnieniach przepływu biociepła, Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska w Gliwicach, Gliwice 2005

$$Q_{\text{perf}} = G_B c_B [T_B - T(x, t)]$$

gdzie: G_B [m^3 krwi/s/ m^3 tkanki] jest współczynnikiem perfuzji,

c_B – objętościowe ciepło właściwe krwi,

T_B – temperatura krwi.¹⁰⁴

6.4 Charakterystyka promieniowania ciała doskonale czarnego

W warunkach równowagi termicznej, ilość promieniowania pochłoniętego jest równa ilości promieniowania wyemitowanego. Definicja ciała doskonale czarnego opisuje wyidealizowane ciało, które całkowicie absorbuje padające na nie promieniowanie.

Każde ciało posiadające temperaturę wyższą niż 0 [K] emituje promieniowanie podczerwone. Im wyższa temperatura danego obiektu, tym natężenie promieniowania jest większe. W codziennych sytuacjach, nie jesteśmy w stanie tego zaobserwować. Dysponując kamerą termowizyjną, jesteśmy w stanie zarejestrować promieniowanie emitowane przez każdy otaczający nasz obiekt.

Dla ciał rzeczywistych definiuje się współczynniki emisyjności ε oraz współczynniki pochłaniania α . Współczynnik pochłaniania (absorpcji) określa stosunek mocy pochłoniętej M_a do mocy padającej na daną powierzchnię obiektu M_p .

Współczynnik emisyjności określa stosunek mocy wyemitowanej $M_{e,c}$ do mocy padającej.

$$\alpha = \frac{M_a}{M_p}$$

$$\varepsilon = \frac{M_e}{M_p}$$

¹⁰⁴ Majchrzak E., Modelowanie przepływu ciepła w organizmach żywych – zastosowania w inżynierii biomedycznej, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Metod Komputerowych Mechaniki, Politechnika Śląska w Gliwicach.

Ilościowe interpretacje widm promieniowania ciał są trudne do opisanie, dlatego w fizyce do opisu tego promieniowania stworzono model ciała doskonale czarnego, które absorbuje i emituje taką samą ilość energii w jednostce czasu.

W związku z powyższym jego zdolność absorpcyjna oraz emisyjna niezależnie od temperatury czy długości fali jest równa jedności.¹⁰⁵

$$\alpha + r + \tau = 1$$

α – współczynnik pochłaniania,

r – współczynnik odbicia,

τ – współczynnik transmisji.¹⁰⁶

Każdy obiekt z uwagi na rodzaj materiału a w szczególności rodzaj powierzchni, posiada inną zdolność emitowania promieniowania podczerwonego. Przedmioty posiadające ciemną oraz matową powierzchnię, będą emitować promieniowanie ciepłe w większym zakresie, niż te o barwie jasnej. Dokonując pomiarów promieniowania podczerwonego metodą bezdotykową, punktem odniesienia jest ciało doskonale czarne, posiadające współczynnik emisyjności $[\varepsilon]=1$. Dla porównania, skóra ludzkiego ciała posiada współczynnik emisyjności mieszczący się w granicach 0,94 do 0,98.

W związku z powyższym można założyć, iż skóra podobnie jak ciało doskonale czarne jest bardzo dobrym absorbentem oraz emitorem promieniowania podczerwonego. Jesteśmy więc znakomitym obiektem do badań termowizyjnych.¹⁰⁷

¹⁰⁵ Minkina W. Pomiary termowizyjne - przyrządy i metody. Częstochowa, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2004.

¹⁰⁶ „Pomiary termowizyjne w praktyce”, praca zbiorowa pod red. H. Madury, Agenda Wydawnicza PAKu, Warszawa, 2004, ISBN 83-87982-26-1.

¹⁰⁷ Ring EFJ, Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. Thermol Int 2000; 10: 7-14

6.4.1 Podstawowe prawa opisujące promieniowania ciała doskonale czarnego

W 1900 roku, Max Planck przedstawił hipotezę dotyczącą promieniowania elektromagnetycznego ciała doskonale czarnego. Zaobserwował procesy zachodzące we wnętrzu ciała doskonale czarnego, które można określić jako drgania oscylatora mechanicznego zdolnego do absorpcji oraz emisji promieniowania. Uwagę zwrócono na fakt, iż wspomniane oscylatory nie posiadały dowolnych wartości, lecz tylko takie, dla których spełniany był warunek^{108, 109}:

$$E = n \cdot h \cdot \nu$$

gdzie:

E – energia;

n – liczba naturalna;

h – stała, która później przyjmie nazwę stałej Plancka;

ν – częstotliwość drgań oscylatora.

Prawo Plancka opisuje w sposób ilościowy rozkład widmowy w określonej temperaturze:¹¹⁰

$$\Phi = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}\right) \right]}$$

gdzie:

Φ - gęstość strumienia cieplnego [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

c- prędkość światła w próżni $3 \cdot 10^8$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

h- stała Plancka $6,626 \cdot 10^{-34}$ [$\text{W} \cdot \text{s}^2$],

λ - długość fali emitowanego promieniowania [m],

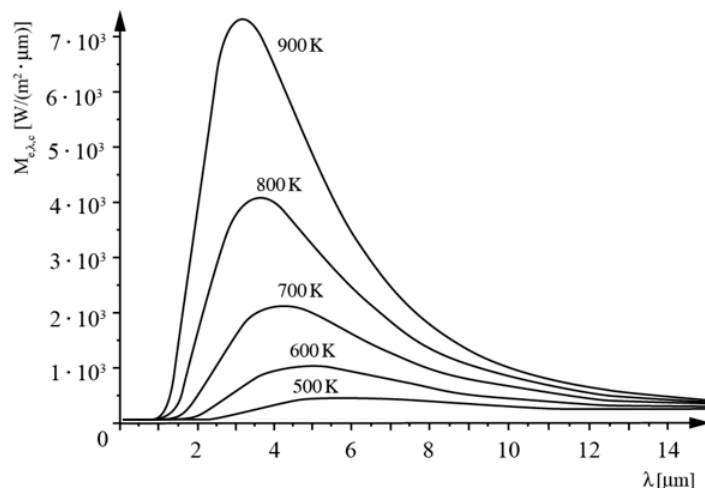
T- temperatura ciała [K],

k- stała Boltzmanna $1,38 \cdot 10^{-23}$ [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$].

¹⁰⁸ B. Więcek, G. De Mey „Termowizja w podczerwieni – podstawy i zastosowanie”, Wydawnictwo PAK, 2011.

¹⁰⁹ B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne”, PWN 1980,

¹¹⁰ „Pomiary termowizyjne w praktyce”, praca zbiorowa pod red. H. Madury, Agenda Wydawnicza PAKu, Warszawa, 2004, ISBN 83-87982-26-1.



Wykres 2. Przykładowy rozkład promieniowania ciała doskonale czarnego dla różnych temperatur.¹¹¹

Położenie maksimum widma w zależności od długości fali elektromagnetycznej zależy od temperatury danego obiektu. Stanowi to definicję **prawa przesunięć Wiena**, które mówi o tym, że wraz ze wzrostem temperatury danego obiektu, najwyższy punkt krzywej rozkładu energii widmowej, przesuwa się w stronę fal krótszych.

Iloczyn temperatury T i długości fali λ_{\max} dla maksymalnej wartości egzytancji widmowej jest stały, zgodnie z poniższym wzorem¹¹²:

$$\lambda_{\max} T = 2897,8 \text{ [}\mu\text{m}\cdot\text{K]}$$

gdzie:

λ_{\max} - długość fali o maksymalnej mocy promieniowania [m],

T - temperatura ciała [K].

Prawo Stefana-Boltzmana

Prawo Stefana-Boltzmana określa zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego w funkcji temperatury, która wedle poniższego wzoru jest proporcjonalna do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej:^{113,114}

¹¹¹ Minkina W. Pomiary termowizyjne - przyrządy i metody. Częstochowa, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2004.

¹¹² B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne, PWN 1980

¹¹³ I. Simon, Promieniowanie Podczerwone, PWN, Poznań 1968

¹¹⁴ D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki Tom 2, PWN Warszawa 2005

$$\Phi = \sigma \cdot T^4$$

gdzie:

T- temperatura ciała [K],

σ – stała Stefana- Boltzmanna $5,67 \cdot 10^{-8}$ [W*m⁻² *K⁻⁴].

W odniesieniu do układów w warunkach rzeczywistych, czyli takich kiedy ciało znajduje się w temperaturze wyższej niż zero bezwzględne (np. w temperaturze pokojowej) prawo Stefana Boltzmanna z uwzględnieniem współczynnika emisyjności przyjmuje postać:¹¹⁵

$$E = \varepsilon S \sigma (T_{ob}^4 - T_{ot}^4)$$

gdzie:

ε - zdolność emisyjna powierzchni,

S- powierzchnia danego ciała [m²],

σ – stała Stefana- Boltzmanna $5,67 \cdot 10^{-8}$ [W*m⁻² *K⁻⁴],

T_{ob}- temperatura obiektu [K],

T_{ot} – temperatura otoczenia [K].

7. Zastosowanie termowizji w medycynie

Na przestrzeni ostatnich lat nastąpił ogromny rozwój zastosowania termowizji w medycynie. Współczesne metody termograficzne umożliwiają nie tylko określenie zmian temperatury, ale również dokładnego jej rozkładu przestrzennego. Najważniejszą zaletą w tej dziedzinie jest całkowicie bezinwazyjny charakter wykonywania badań, z możliwością wielokrotnych powtórzeń bez jakichkolwiek skutków ubocznych dla pacjentów.¹¹⁶

Ogromna ilość prowadzonych badań w zakresie nauk medycznych bezpośrednio świadczy o możliwościach oraz zainteresowaniu wykorzystania termowizji na szeroką

¹¹⁵ A.Z. Hryniewicz, E. Rokita, *Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii*, PWN Warszawa 2000

¹¹⁶ Cholewka, A.; Stanek, A.; Sieroń, A.; Drzazga, Z. Thermovision in physical medicine. In *Biomedical application of Thermovision*; Podbielska, H., Skrzek, A., Eds.; Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej: Wrocław, Poland, 2013.

skalę.¹¹⁷ Wizualizacja rozkładu temperatury powierzchni ludzkiego ciała, niesie za sobą istotne informacje, odzwierciedlając procesy zachodzące w naszym organizmie. Wszystkie cechy fizjologiczne organizmów żywych związane z emisyjnością tkanek oraz stałocieplnością wpływają na zmianę emitowanego przez ciało promieniowania podczerwonego i są możliwe do detekcji za pomocą kamer termowizyjnych.¹¹⁸ Obecnie termografia stanowi funkcjonalne narzędzie do oceny stosowanych terapii np. podczas fizykoterapii, jak również jako narzędzie prognostyczne w obszarze zaburzeń ukrwienia obwodowego.¹¹⁹

W praktyce klinicznej jako pomoc diagnostyczna termowizja ma zastosowanie m.in. dla dziedzin:

- Alergologii, w zakresie wykonywania testów skórnych, w diagnostyce alergii oddechowych,
- Dermatologii, w zakresie zmian nowotworowych, oceny stanu skóry, głębokości oraz rozległości oparzeń, w procesie gojenia się ran,
- Reumatologii, w zakresie diagnostyki stanów zapalnych kręgosłupa, więzadeł, stawów, mięśni,
- Angiologii, w zakresie stanów zapalnych naczyń krwionośnych, zaburzeń związanych z przepływem krwi,
- Laryngologii, w zakresie oceny stanów zapalnych zatok przynosowych oraz jamy ustnej,
- Stomatologii, w zakresie analizy stanu przyzębia, stawów skroniowo-żuchwowych
- Pulmonologii, w zakresie rozpoznawania zapalenia płuc,
- Endokrynologii, w zakresie wspomagania diagnostyki schorzenia tarczycy,
- Onkologii, w zakresie diagnostyki zmian nowotworów piersi, zmian zapalnych,
- Transplantologii, w zakresie oceny czasu tzw. zimnego niedokrwienia podczas operacji chirurgicznych,¹²⁰

¹¹⁷ Cholewka, A.; Drzazga, Z.; Sieroń, A.; Stanek, A.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Nowak, M. Some Applications of Thermal Imaging in Medicine. In *Some Aspects of Medical Physics—In Vivo and In Vitro Studies*; Drzazga, Z., Ślosarek, K., Eds.; Polish Journal of Environmental Studies, Olsztyn, Poland, 2010, pp. 51-58.

¹¹⁸ Bauer J, Dereń E. Standaryzacja badań termograficznych w medycynie i fizykoterapii. *Inż Biomed* 2014;20(1):11.

¹¹⁹ Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas* 2012;33(3): R33–R46.

¹²⁰ Pabisiak K, Romanowski M, Myslak M, Szydłowski L, Sieńko J, Domański L, et al. Variations in temperature of the donor kidney during cold ischemia time and subsequent assessment of reperfusion using the application of thermovision camera. *Transplant Proc* 2003;35(6):2157-9.

- Chirurgii, w zakresie oceny rozległości oparzeń oraz konieczności wykonania przeszczepu skóry po oparzeniu termicznym,^{121,122}
- Medycynie sądowej, w zakresie określania czasu zgonu, na podstawie zjawiska pośmiertnego schładzania się zwłok,¹²³
- Epidemiologii, w zakresie pomiaru temperatury ciała w miejscach użyteczności publicznej w celu wykrycia zakażenia chorobami wirusowymi.

Termowizja jako nieinwazyjna technika obrazowania ludzkiego ciała, może wykazać swoją przydatność nie tylko w diagnostyce schorzeń, ale także w ocenie efektów metod fizykalnych takich jak tlenoterapia hiperbaryczna HBOT czy Oxybaria-S.¹²⁴

Aktualne standardy pomiarowe dla termografii medycznej, rozwój technologii cyfrowej oraz coraz bardziej zaawansowane detektory o wysokiej rozdzielczości i czułości termicznej, przyczyniają się do coraz szerszego wykorzystywania termowizji w różnych dziedzinach medycyny.

Zastosowanie termowizji w różnych gałęziach medycyny wykazało, że temperatura powierzchni ciała niesie ze sobą cenne informacje w diagnostyce wielu gałęzi medycyny oraz w ocenie efektów leczenia.¹²⁵ Należy zauważyć, że temperatura powierzchni ciała jest ściśle związana z ukrwieniem tkanek i aktywnością metaboliczną. Dlatego mapa temperatury ciała dostarcza ważnych informacji w diagnostyce, zwłaszcza skóry i tkanek powierzchownych.¹²⁶

W związku z powyższym zastosowanie termowizji może nieść istotne informacje nie tylko dotyczące rozkładu temperatury powierzchni ciała, ale także pośrednio informacje dotyczące metabolizmu, czyli efektów leczenia i zmian zakresu występowania stanu zapalnego. Wyniki zaprezentowano w niniejszej pracy jak również w innych pracach naukowych w których wykonaniu brałam udział.¹²⁷

¹²¹ Xue EY, Chandler LK, Viviano SL, Keith JD. Use of FLIR ONE Smartphone thermography in burn wound assessment. *Ann Plast Surg* 2018;80(4): S236-8

¹²² Simmons JD, Kahn SA, Vickers AL, Crockett ES, Whitehead JD, Krecker AK, et al. Early assessment of burn depth with far infrared time lapse thermography. *J Am Coll Surg* 2018;226(4):687-93

¹²³ Maksymowicz K, Dudek K, Bauer J, Jurek T, Drozd R. Ocena możliwości zastosowania techniki termowizyjnej w diagnostyce medyczno-sądowej. Podstawy teoretyczne. *Ann Acad Med Stetin* 2007;53(2):102-6

¹²⁴ Cholewka, A.; Knefel, G.; Stanek, A.; Kawecki, M.; Nowak, M.; Sieroń, A.; Drzazga, Z. Thermal imaging and TC oximetry measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2012**, *108*, 25–31.

¹²⁵ Cholewka, A.; Kajewska, J.; Kawecki, M.; Sieroń-Stołtny, K.; Stanek, A. How to use thermal imaging in venous insufficiency? *J. Therm. Anal. Calorim.* **2017**, *130*, 1317–1326.

¹²⁶ Glik, J.; Cholewka, A.; **Englisz, B.**; Stanek, A.; Sieroń, K.; Mikuś-Zagórska, K.; Knefel, G.; Nowak, M.; Kawecki, M. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv. Clin. Exp. Med.* **2018**, doi:10.17219/acem/92304.

¹²⁷ Liszka, G.; **Englisz, B.**; Knefel, G. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and planimetry- preliminary results. *Thermol. Int.* **2016**, *26*, 16–18.

III ZAŁOŻENIA I CELE PRACY

W pracy przedstawiono zalety wykorzystania termografii w podczerwieni w monitorowaniu leczenia trudno gojących się ran podudzi, będących następstwem przewlekłych chorób układu krążenia.

Mając na uwadze istotną rolę rozwoju medycyny, mam nadzieję, iż proponowane metody wspomogą proces leczenia pacjentów jak również ułatwią pracę lekarzy wykonujących badania w zakresie obrazowania trudno-gojących się ran podudzi.

Podstawowymi celami pracy były:

1. Ocena zmian wartości temperatur wybranych obszarów zainteresowania określonych przed i po zastosowanej tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno-gojących się ran podudzi, przy pomocy techniki obrazowania termograficznego w podczerwieni;
2. Ocena zmian wartości temperatur wybranych obszarów zainteresowania w charakterystycznych interwałach pełnego cyklu leczenia (30 zabiegów) okres I (1-10 sesji terapeutycznych), okres II (11-20 sesji terapeutycznych), okres III (21-30 sesji terapeutycznych);
3. Próba oceny wpływu tlenoterapii hiperbarycznej na zmianę powierzchni rany mierzoną zarówno przy wykorzystaniu planimetrii jak i przy wykorzystaniu analizy obszarów rany ograniczonych izotermą.
4. Ponadto, podjęto próbę oceny zmian wartości temperaturowych wybranych obszarów zainteresowania przed i po zastosowanej terapii Oxybarii-S w leczeniu trudno-gojących się ran podudzi.

Badania prowadzone w kooperacji z zespołem z Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich, miały na celu wykorzystanie nieinwazyjnej techniki obrazowania termicznego do oceny zmian mapy termicznej trudno-gojących się ran podudzi w trakcie leczenia tlenoterapii hiperbarycznej.

Z uzyskanych wyników badań poszukuje się zależności między mapami termicznymi powierzchni ciała, a obszarami planimetrycznymi ran w kontekście zmian

metabolicznych tkanek miękkich i ewaluacji procesu leczenia z wykorzystaniem tlenoterapii hiperbarycznej oraz Oxybarii-S.

Metody stosowane do kwalifikacji pacjentów, aby rozpocząć leczenie oraz aby móc monitorować efekty terapii, wymagają szybkiej oraz nieinwazyjnej możliwości weryfikacyjnej, wykonywanej przez cały okres trwania leczenia.

Poszukiwane są rozwiązania umożliwiające szybką oraz dokładną ocenę zmienionych chorobowo tkanek.

Niniejsza praca zawiera wyniki opublikowane w pracach badawczych, w których byłam współautorem. Przedstawione i przedyskutowane wyniki otrzymano w ramach wieloletnich badań nad zastosowaniem termowizji w ocenie temperaturowych efektów leczenia ran przewlekłych za pomocą tlenoterapii hiperbarycznej:

1. **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Ewa Firganek, Grzegorz Knefel, Marek Kawecki, Justyna Glik, Mariusz Nowak, Karolina Sieroń, Agata Stanek, J. Therm. Anal. Calorim. - Vol. 141, iss. 4 (2020), „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry” 1465-1475 (DOI:10.1007/s10973-019-09129-0), IF=4,626, MEN=100.
2. Justyna Glik, Armand Cholewka, **Beata Englisz**, Agata Stanek, Karolina Sieroń, Karolina Mikuś-Zagórska, Grzegorz Knefel, Mariusz Nowak, Marek Kawecki, *Advances in Clinical and Experimental Medicine, Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy*, 2017, (DOI 10.17219/acem/92304) ISSN 1899-5276, IF=1,727, MEN=40.
3. Teresa Kasprzyk-Kucewicz, Armand Cholewka, **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Romualda Mucha, Michał Relich, Marek Kawecki, Karolina Sieroń, Patrycja Onak and Agata Stanek, *Thermal Effects of Topical Hyperbaric Oxygen Therapy in Hard-to-Heal Wounds—A Pilot Study*”, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 6737. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136737>; IF=4,614 MEN=140.
4. Grzegorz Liszka, **Englisz Beata**, Knefel Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Karolina Sieroń-Stoltny3, Agata Stanek4, Cholewka Armand1 *Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and plannimetry – first announcement, 2016*

5. **Beata Englisz-Jurgielewicz** „Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi” 2018, vol. 7, nr 3, Inżynier Fizyk Medyczny, MEN=5.

6. **Beata Englisz**, „Termograficzna ocena wpływu tlenoterapii hiperbarycznej oraz Oxybarii-S na owrzodzenia troficzne podudzi”, Katowice 2015, (praca inżynierska)

7. **Beata Englisz**, „Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu owrzodzeń żylnych podudzi”, Katowice 2016, (praca magisterska)

IV CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

8. Materiał kliniczny i miejsce prowadzonych badań

Badaniami objęto dwie główne grupy pacjentów leczonych z powodu trudno-gojących się ran, u których wcześniejsze leczenie nie wykazało pozytywnych efektów. Badania prowadzono w dwóch ośrodkach medycznych z wykorzystaniem technik stosujących tlen hiperbaryczny. Każdy z pacjentów miał zdiagnozowane przewlekłe żylne owrzodzenia podudzi, spowodowane niewydolnością żył powierzchownych.

Protokoły badawcze zostały wykonane zgodnie z Deklaracją Helsińską.

Pierwsza grupa chorych składała się z 60 pacjentów (28 kobiet i 32 mężczyzn) będących w wieku od 48 do 82 lat, cierpiących z powodu trudno-gojących się ran zlokalizowanych na kończynach dolnych - podudzia. Pacjenci zostali objęci leczeniem przy pomocy tlenoterapii hiperbarycznej HBOT.

Badania prowadzone były w Centrum Leczenia Oparzeń im. dr Stanisława Sakiela w Siemianowicach Śląskich. Pojedynczy zabieg w komorze hiperbarycznej trwał 86 minut. Wewnątrz komory ciśnienie wynosiło 2,5 [ATA]. Każdy z pacjentów został zakwalifikowany do 30 zabiegów (pełen cykl leczenia). Dodatkowo pacjenci otrzymywali standardowe leczenie miejscowe zgodne z wytycznymi Polskiego Towarzystwa Leczenia Ran.¹²⁸

Z kolei druga grupa pacjentów składała się z 12 pacjentów (8 kobiet i 4 mężczyzn) w wieku od 52 do 85 lat, cierpiących z powodu trudno-gojących się ran podudzi. Pacjenci byli poddani 10 sesjom terapeutycznym przy wykorzystaniu miejscowej tlenoterapii hiperbarycznej THBOT Oxybarii-S, których czas wynosił po 30 minut każdego dnia z wykluczeniem weekendów.

¹²⁸ **Englisz B**, Cholewka A, Knefel G, i wsp. Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi. Inż Fyzyk Med 2018; 7: 139-142.

W trakcie pojedynczego seansu, każdy z pacjentów znajdował się w pozycji leżącej, a kończyzna została umieszczona bezpośrednio w komorze cylindra aparatu. Przez specjalne rurki docierał tlen z butli pod stałym ciśnieniem 1,5 [ATA].

Badania powyższej grupy zostały przeprowadzone w Szpitalu Specjalistycznym nr 2 w Bytomiu (Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu).

Przed rozpoczęciem terapii pacjenci zostali poinformowani o zasadach bezpieczeństwa. U wszystkich pacjentów biorących udział w badaniach do niniejszej pracy jednocześnie prowadzone było leczenie farmakologiczne (miejscowe) oraz stosowanie opatrunków w celu zapewnienia sterylności i odpowiedniej wilgotności w obrębie leczonej rany.

Obrazowanie termowizyjne wykonano za pomocą kamery termowizyjnej Termovision E60 Flir Systems posiadającej następujące parametry techniczne:

- Matryca FPA 320x240px
- Czułość termalna 0,05 [°C]

Dla grupy pacjentów leczonych z wykorzystaniem HBOT, zdjęcia obrazowanie termiczne wykonywane było bezpośrednio przed i po sesji HBOT zgodnie ze standardowym protokołem badań termowizyjnych.^{129,130} Pomiary odbywały się w pomieszczeniu o ustabilizowanej temperaturze 22,5 - 23,5 ± 1 [°C] oraz wilgotności 45 – 50 ± 1 [%].

Temperatura w komorze hiperbarycznej odpowiadała temperaturze w pomieszczeniu pomiarowym i wynosiła 22,5 ± 1 [°C].

Dla drugiej grupy pacjentów leczonych przy pomocy Oxybarii-S, obrazowanie termiczne wykonywane było bezpośrednio przed i po sesji THBOT zgodnie ze standardowym protokołem badań termowizyjnych.^{131,132} Pomiary odbywały się w pomieszczeniu o ustabilizowanej temperaturze 21,5 - 22,5 ± 1 [°C] oraz wilgotności 45 – 55 ± 1 [%].

Temperatura w pomieszczeniu pomiarowym i wynosiła 22,5 ± 1 [°C].

¹²⁹ Ring EFJ and Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol. Intern.* 2000; 10(1): 7-14.

¹³⁰ Bauer J, Dereń E. Standardization of Infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2014;20(1):11–20.

¹³¹ Ring EFJ and Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol. Intern.* 2000; 10(1): 7-14.

¹³² Bauer J, Dereń E. Standardization of Infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2014;20(1):11–20.

Przed przystąpieniem do badania pacjenci z obu grup badawczych poddawani byli aklimatyzacji do temperatury otoczenia. Obrazowanie termowizyjne wykonano zgodnie z protokołem Glamorgan dotyczącego wykorzystania termowizji w medycynie.^{133,134}

9. Metodyka – grupa HBOT

W niniejszej pracy liczbę wszystkich sesji terapeutycznych dla grupy pierwszej podzielono na trzy etapy:

I okres leczenia: sesje (1-10)

II okres leczenia: sesje (11-20)

III okres leczenia: sesje (21-30)

Każdorazowo przed zabiegiem oraz przed wykonaniem zdjęcia termograficznego, pacjenci mieli zdejmowane opatrunki z rany podlegającej badaniu, aby osiągnąć równowagę termiczną z otoczeniem. Opatrunki zakładane na ranę zawsze mocowane były w sposób uniemożliwiający jakikolwiek ucisk tkanek.

Wyniki analizowano oceniając wpływ pojedynczych sesji w komorze hiperbarycznej oraz pojedynczej sesji tlenoterapii miejscowej na zmianę temperatury badanej powierzchni ciała poprzez ocenę obrazów termicznych uzyskanych przed i bezpośrednio po pojedynczej sesji tlenoterapii hiperbarycznej oraz analizując pełny cykl leczenia poprzez grupowanie wyników pacjentów dla poszczególnych sesji całego cyklu.

W niniejszych badaniach podjęto próbę wykonania analizy powierzchni trudno-gojących się ran oraz obszarów przyległych korzystając z analiz zmieniających się wskutek terapii map termicznych powierzchni ciała, ocenianych za pomocą termografii w podczerwieni. Dokonano pomiarów pola powierzchni ran w toku leczenia, które zostały obliczone jako procentowe różnice w liczbie pikseli ograniczonych izotermą.

¹³³ Ring EFJ and Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol. Intern.* 2000; 10(1): 7-14.

¹³⁴ Bauer J, Dereń E. Standardization of Infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2014;20(1):11–20.

Analizę termograficzną przeprowadzono przy pomocy programu ThermaCAM Researcher Pro 2.10. Do prezentacji termogramów wybrano skalę kolorów MEDICAL, a zakres temperatur wynosił od 26 [°C] do 38[°C].

Obrazowanie planimetryczne zostało wykonane przy użyciu Planimetru System IRIS firmy Medi.com Sp. z o.o. Zdjęcia planimetryczne wykonywane były równoległe z obrazowaniem termicznym. Parametry uzyskane za pomocą planimetrii mierzone były równoległe przez cały cykl leczenia pacjentów. Wszystkie parametry obu metod uzyskano w wyżej wymienionych okresach leczenia.

Analizę statystyczną przeprowadzono w programie Statistica 13.1 oraz w programie Microsoft Excel 2016.

Dla spełnionych założeń testów parametrycznych - rozkładu normalnego i jednorodności wariancji zastosowano test t-Studenta, a przy nie spełnieniu tych założeń stosowano test Wilcoxon.

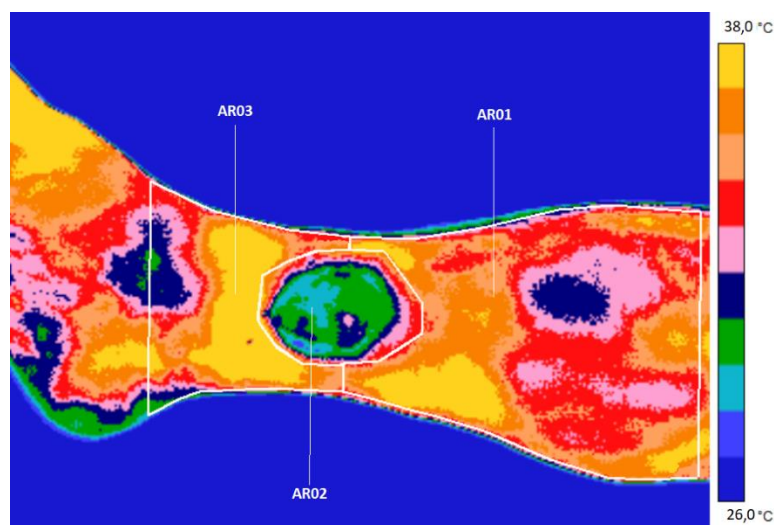
9.1 Prezentacja wyników – grupa HBOT

9.1.1 Prezentacja wyników termograficznych

Pomiar temperatury tkanek trudno-gojących się ran wykonywany w spoczynku w pozycji leżącej pacjenta, w odległości ok. 1[m]. W dniu wykonywanych badań pacjenci nie wykonywali żadnej aktywności fizycznej.¹³⁵ Wykonane zdjęcia pozwalały na uzyskanie termogramów, które poddane zostały analizie w sposób następujący:

- Obszar AR01 - bezpośrednio nad raną, sięgający od środka obszaru rany do połowy długości kości piszczelowej,
- Obszar AR02 - centralny obszar rany, znajdujący się między stawem skokowym a połową długości kości piszczelowej,
- Obszar AR03- obszar bezpośrednio pod raną, rozciągający się od środka obszaru rany do wysokości stawu skokowego.

¹³⁵ Cholewka A, Kajewska J, Kawecki M, Sieroń-Stołtny K, Stanek A. How to use thermal imaging in venous insufficiency? J Therm Anal Calorim 2017, 130:1317-1326



Rysunek 6. Prezentacja wybranych obszarów zainteresowania analizowanych dla całej grupy pacjentów.

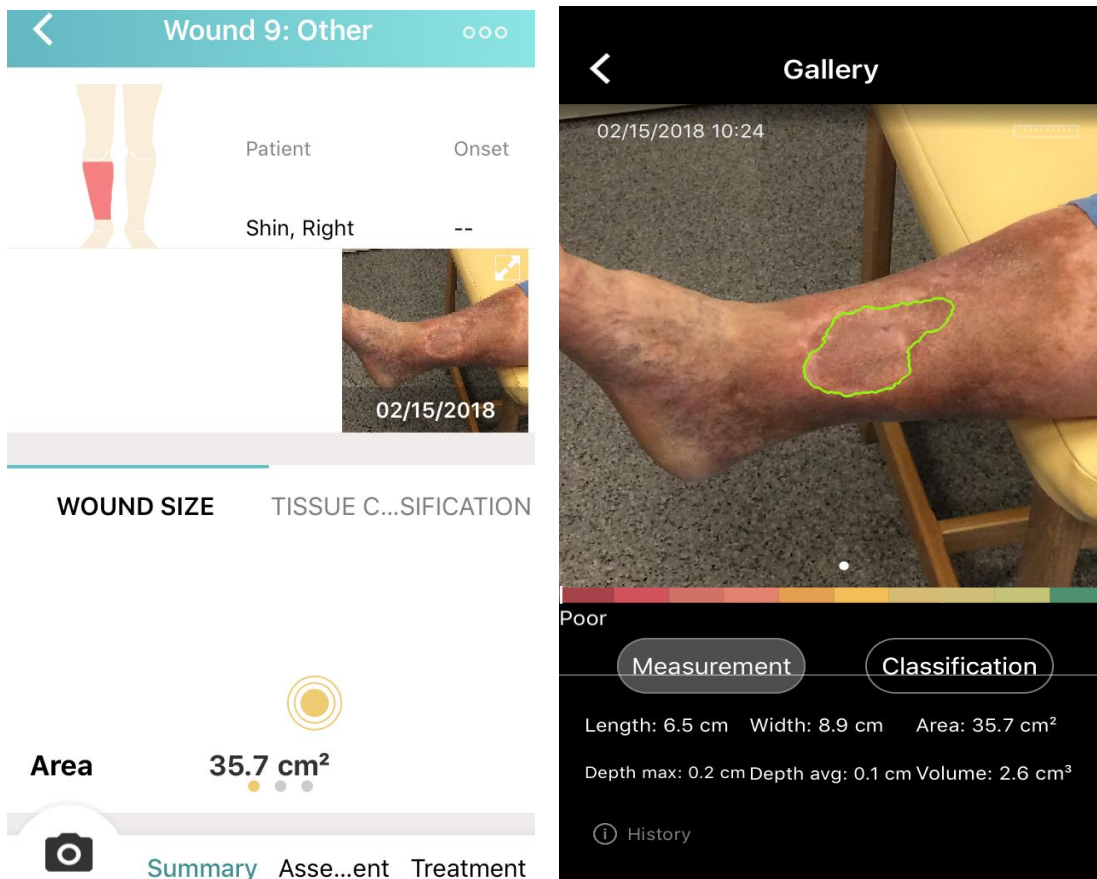
9.1.2 Prezentacja wyników - pomiar powierzchni rany metodą planimetryczną z wykorzystaniem zdjęć cyfrowych

Do oceny pomiaru powierzchni rany wykorzystany został komputerowy program (E – CARE Systems), zainstalowany na urządzeniu typu tablet wraz z możliwością wykonywania zdjęć fotograficznych. W programie tym ocena planimetryczna powierzchni zmian chorobowych jest możliwa do wykonania w trybie manualnym, przy pomocy oprogramowania. W pierwszym etapie badania następowało wczytanie obrazu ze zdjęcia, a następnie na uzyskanym obrazie zaznaczano obszar zmieniony chorobowo w celu wyznaczenia dokładnych rozmiarów. Program umożliwia wykonanie analizy powierzchni rany oraz jej parametrów w dwóch trybach:

- a) osoba wykonująca pomiar przesuwając wskaźnik myszki wzdłuż obszaru rany, następnie po dwukrotnym naciśnięciu klawisza myszy program automatycznie domyka rysowany kontur tworząc krzywą zamkniętą
- b) osoba wykonująca pomiar wyznacza punkty znajdujące się na brzegach obszaru zmienionego chorobowo, następnie program łączy zbiór punktów tworząc zamkniętą powierzchnię wyznaczonego konturu.

Po wykonaniu powyższych kroków, przy uzyskanym zamkniętym obszarze zainteresowania, program przystępował do kalkulacji poniższych parametrów:

- a) Obszar rany AR02 został zaznaczony kolorem zielonym.
- b) Dokonano analizy następujących parametrów:
 - powierzchnia [cm^2]
 - długość [cm]
 - szerokość [cm]
 - głębokość max [cm]
 - objętość [cm^3]



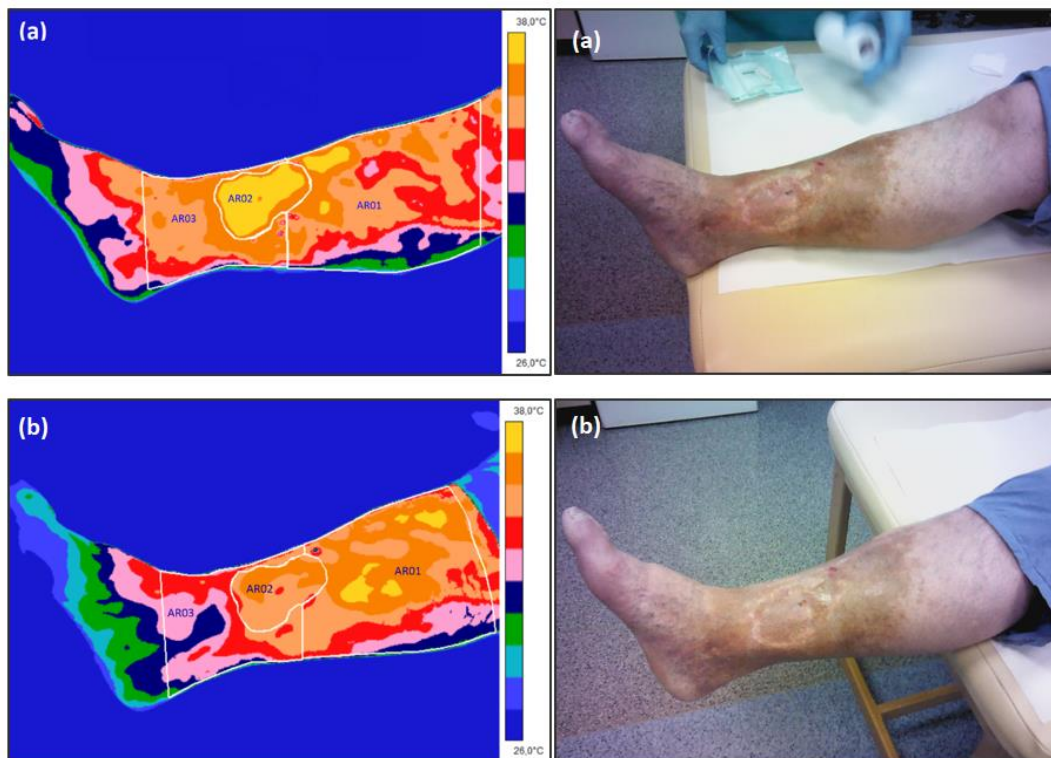
Rysunek 7. Przykładowe zdjęcie planimetryczne z zaznaczonymi obszarami oraz wartościami pomiarowymi.

10. Omówienie wyników i dyskusja – grupa HBOT

Na rysunkach 8-10 zaprezentowano obrazy termiczne z trzech okresów HBOT, wraz z obrazami przedstawiającymi rany przed i bezpośrednio po sesji tlenoterapii hiperbarycznej. Dodatkowo w tabeli pod zdjęciami zebrano parametry termiczne i planimetryczne charakteryzujące analizowane obszary zainteresowania.

10.1 Obrazowanie termograficzne w podziale na 3 okresy leczenia HBOT

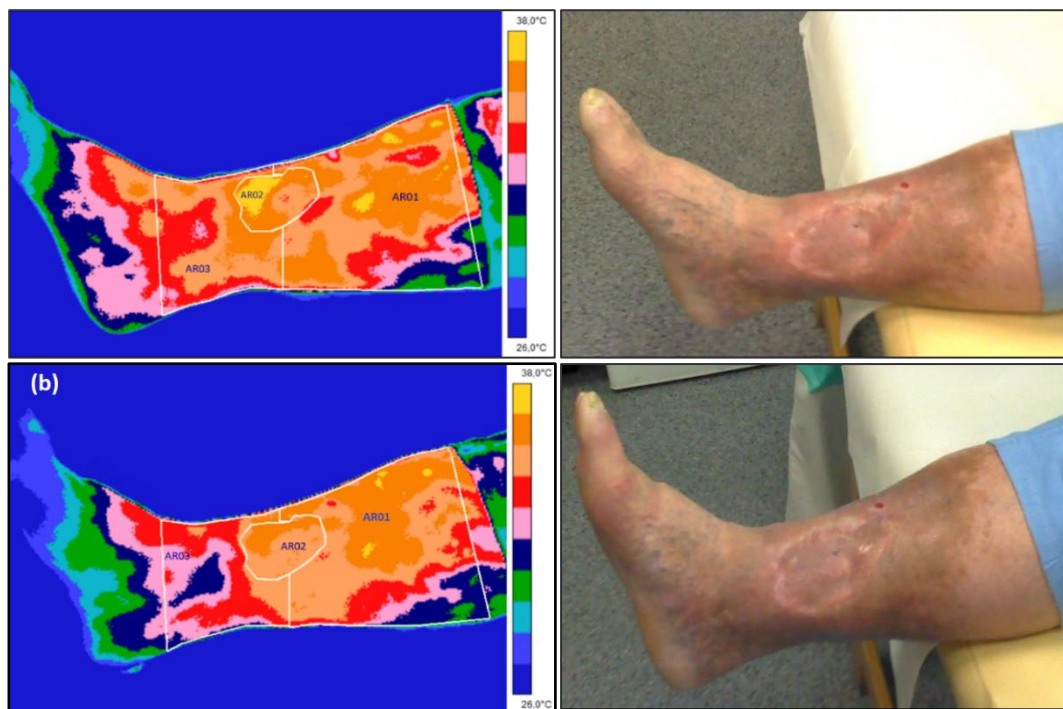
I okres leczenia (sesje terapeutyczne 1-10)



Rysunek 8. Zdjęcia termowizyjne oraz cyfrowe reprezentatywnego pacjenta cierpiącego na trudno gojące się rany wykonane w I okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji HBOT.¹³⁶

¹³⁶ **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2020**, *141*, 1465–1475.

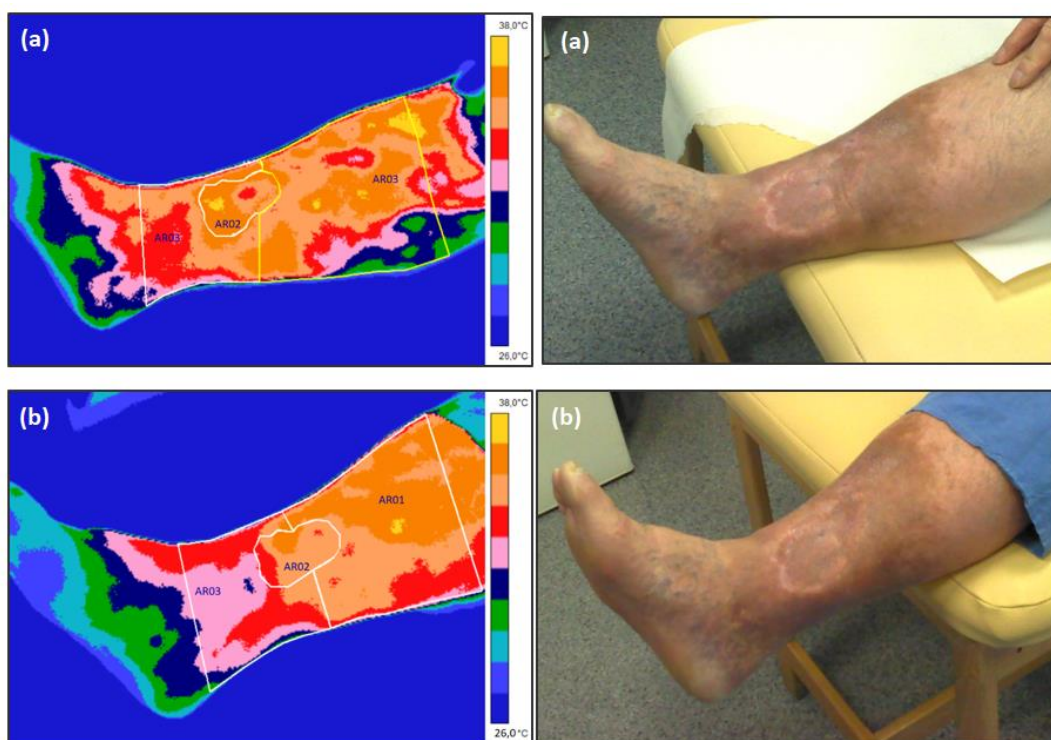
II okres leczenia (sesje terapeutyczne 11-20)



Rysunek 9. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w II okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji HBOT.¹³⁷

¹³⁷ **Englisz-Jurgielewicz, B.;** Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2020**, *141*, 1465–1475.

III okres leczenia (sesje terapeutyczne 21-30)



Rysunek 10. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w III okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji HBOT.¹³⁸

	Okres I	Okres II	Okres III	Okres I	Okres II	Okres III
Obszar	T[°C] przed HBO			T[°C] po HBO		
AR01	34 .4	36 .0	34 .6	33 .7	33 .6	33 .7
AR02	34 .3	34 .5	34 .1	33 .9	33 .6	34 .0
AR03	32 .7	34 .2	33 .3	31 .8	31 .8	33 .2

Tabela 5. Wyniki temperatury średniej wybranych obszarów zainteresowania uzyskane na podstawie zdjęć termicznych reprezentatywnego pacjenta wykonanych przed i po HBO we wszystkich badanych okresach leczenia.

¹³⁸ **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2020**, *141*, 1465–1475.

10.2 Obrazowanie planimetryczne w podziale na 3 okresy leczenia HBOT



Wartość pomiarowa	A- Okres I	B - Okres II	C- Okres III
Powierzchnia [cm ²]	44 .1	41 .3	36 .3
Długość [cm]	6 .3	6 .1	5 .9
Szerokość [cm]	10 .2	9 .3	8 .5
Głębokość max [cm]	0 .4	0 .4	0 .3
Objętość [cm ³]	6 .3	6 .7	5 .1

Rysunek 11. Przykład zdjęć wykonanych za pomocą planimetrii, z zaznaczonymi obszarami zainteresowania, z wartościami zebranymi w tabeli pod zdjęciami dla reprezentatywnego pacjenta we wszystkich trzech okresach leczenia (okres A-I, okres B-II, okres C-III)

Dodatkowo, wykonano analizę liczby pikseli [px] pobranych dla obszarów rany AR02 u wszystkich pacjentów ze zdjęć termowizyjnych i przedstawiono wyniki w tabeli nr 2. Poniższe wartości, mogą być komplementarne do uzyskanych wyników z obliczeń planimetrycznych, ponieważ obie techniki oceniają dwa różne typy diagnostyki obrazowej – zmiany strukturalne powierzchni rany widoczne w analizie planimetrycznej i tkance aktywnej metabolicznie, które wskazują na stopień stanu zapalnego uzyskany z obrazowania termicznego. Wyniki ograniczone zastosowaną izotermą otrzymane dla reprezentatywnego pacjenta zamieszczono w tabeli 6.

Obszar zainteresowania	Okres leczenia	Powierzchnia rany - liczba pikseli obliczonych z obrazów termograficznych [px]
AR02	I	2519.00
AR02	II	1424.00
AR02	III	1007.00

Tabela 6. Wyniki reprezentatywnego pacjenta dla obszaru rany AR02 dla trzech okresów leczenia HBO.

Na powyższych rysunkach zostały przedstawione termogramy wraz ze zdjęciami cyfrowymi dla trzech okresów leczenia reprezentatywnego pacjenta cierpiącego na trudno-gojące rany podudzi. Rozkład temperatury widoczny na termogramach wykonanych przed (a) oraz bezpośrednio po (b) zabiegu HBOT różni się między sobą. Zmiany temperatury mogą świadczyć o procesach, jakie zachodzą w trakcie terapii. Do tych procesów zgodnie z literaturą¹³⁹ zaliczamy m.in. angiogenezę, która jest procesem wzrostu naczyń krwionośnych, zwłaszcza tych najmniejszych, które z kolei są odpowiedzialne za ukrwienie tkanek miękkich, a więc również za termoregulację. Poprawa ukrwienia może prowadzić do zwiększenia utlenowania oraz poprawy termoregulacji w danym obszarze, wskutek wzrostu przepływu krwi. W związku z powyższym wzrasta poziom metabolizmu prowadzący do zmiany mapy termicznej powierzchni ciała, który obserwujemy za pomocą obrazowania termicznego. Procesów tych, a raczej ich wyniku, czyli zmiany metabolizmu, nie można zaobserwować na zdjęciu cyfrowym.

Generalnie analizując otrzymane wyniki dla całej grupy badawczej zaobserwowano spadek średniej temperatury w obszarach zainteresowania po zabiegu HBOT. Ponadto jak można zauważyć, termogramy wykonane po sesji HBOT różnią się w badanych obszarach zainteresowania. Widzimy zmianę mapy termicznej zarówno w obszarach otaczających ranę jak i centralnego obszaru rany. Rezultaty badań przedstawiono w literaturze, która stanowi podstawę niniejszej pracy.^{140,141}

¹³⁹ Armand, Cholewka, Agata Stanek, Aleksandra Klimas, Aleksander Sieroń, Zofia Drzazga, Thermal imaging application in chronic venous disease: pilot study, J Therm Anal Calorim.

¹⁴⁰ Grzegorz Liszka, **Englisz Beata**, Knefel Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz², Karolina Sieroń-Stołtny, Agata Stanek, Cholewka Armand: Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and planimetry – first announcement, 2016

¹⁴¹ Armand Cholewka, Grzegorz Knefel, Agata Stanek, Marek Kawecki, Mariusz Nowak, Aleksander Sieroń, Zofia Drzazga: Thermal imaging and TC oximetry measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura. J J Therm Anal Calorim 2012; 108(1), 25-31.

Terapia tlenem hiperbarycznym prowadzi do poprawy perfuzji tkanek, zmniejszenia obrzęku, poprawy krążenia krwi i termoregulacji w obszarze trudno-gojących się ran. W efekcie powyższe mechanizmy tej metody uruchamiają procesy gojenia, co widać na mapach termicznych otoczenia rany.

Warto podkreślić, że nie jesteśmy w stanie zaobserwować takich zmian przy pomocy zwykłych zdjęć cyfrowych, co w sposób oczywisty ogranicza ilość dostępnych informacji diagnostycznych.

Przedstawione obrazy termograficzne oraz obliczone na ich podstawie wartości średnich temperatur zebranych w tabeli 5, mogą wskazywać, że temperatura powierzchni skóry może ulec obniżeniu w wyniku prowadzonej tlenoterapii hiperbarycznej. Jednocześnie różne obszary zainteresowania podlegają różnym stopniom spadku temperatury. Zmiany tych wartości sugerują inicjację procesów związanych ze zmniejszeniem obrzęku i stanu zapalnego oraz nasileniem angiogenezy.¹⁴² Procesy te, zachodzące podczas leczenia mogą prowadzić do poprawy mikrokrążenia, wpływając na zmianę temperatury powierzchni ciała na skutek zmian metabolicznych, które można zaobserwować analizując zmiany temperatury w wybranych obszarach zainteresowania.

Największe zmiany zaobserwowano w badanym obszarze rany AR02, co wydaje się być znaczące z uwagi na zmniejszenie obrzęku oraz stanu zapalnego w obrębie rany. W celu poprawy mikrokrążenia, a tym samym dotlenienia rany konieczne jest zmniejszenie obrzęków¹⁴³. Co więcej, parametry termiczne uzyskane z analizy obrazów termowizyjnych podczas pełnego cyklu 30 zabiegów mogą świadczyć o obniżeniu temperatury okolicy rany przy jednoczesnej rekonstrukcji tkanek, co zostało opisane w literaturze.^{144,145,146}

Celem prowadzonych badań było zaproponowanie potencjalnej roli termowizji w ocenie efektów HBOT oraz dostarczenie nowych obiektywnych informacji, których lekarz nie

¹⁴² Londahl M. Hyperbaric oxygen therapy as treatment of diabetic foot ulcers. *Diabetes Metab. Res. Rev* 2012; 28(1): 78–84

¹⁴³ Sieroń A, Cierpka L, Rybak Z, Stanek A (2009) Podręcznik angiologii. alfa-medica press, Bielsko-Biała, pp. 274-276.

¹⁴⁴ **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2020**, *141*, 1465–1475.

¹⁴⁵ Glik J., Cholewka A., **Englisz B.**, A., Stanek A., Sieroń K., Mikuś-Zagórska K., Knefel G., Nowak M., Kawecki M. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv Clin Exp Med* 2018, doi: 10.17219/acem/92304

¹⁴⁶ G. Liszka, **B. Englisz**, G. Knefel, et al Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and planimetry- preliminary results *Thermology international* Vol 26 (2016), Supplement: 16-18

może zobaczyć bez kamery termowizyjnej, tj. aktywności metabolicznej tkanek i stanów zapalnych wokół ran. Na podstawie przedstawionych obrazów termicznych można zobaczyć, jak w wyniku prowadzonej terapii zmniejsza się powierzchnia rany. W okolicy obszaru rany AR02 następuje dynamiczna zmiana prowadząca do poprawy gojenia się rany. Dzięki tym informacjom, lekarz może zdecydować, czy pacjent dobrze reaguje na leczenie, czy też nie, co może skutkować odpowiednim dostosowaniem leczenia.^{147,148}

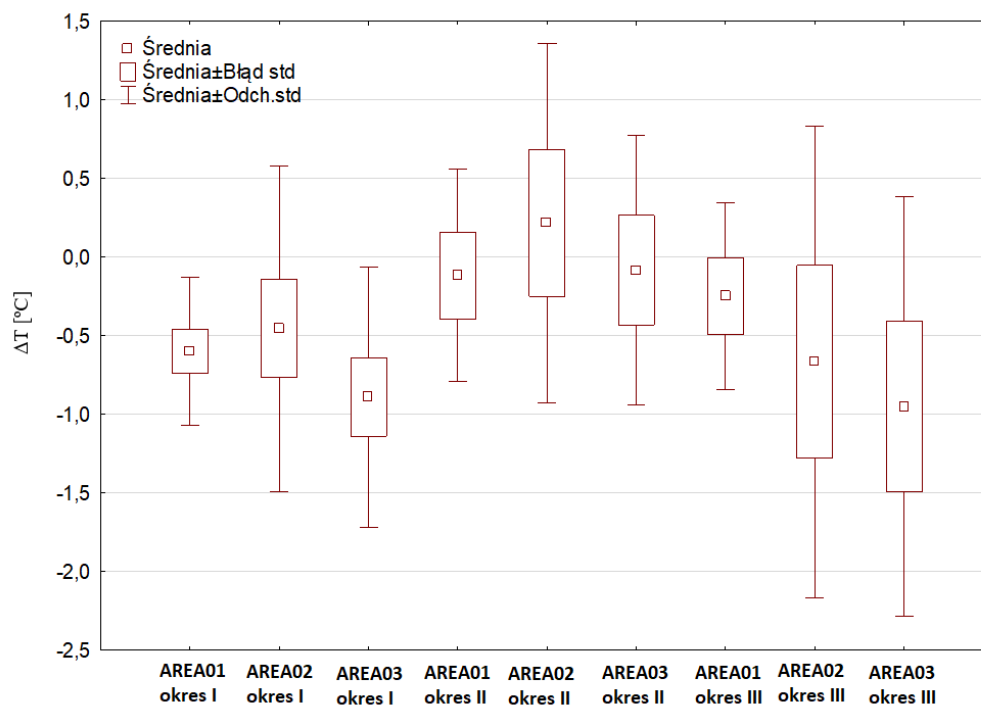
10.3. Analiza statystyczna – grupa HBOT

Dla lepszego zobrazowania wpływu HBOT na odpowiedź termiczną rany oraz obszarów przyległych analizowanych w ramach prowadzonych badań na wykresach 3, 3a, 3b oraz 3c przedstawiono zmiany wartości średnich temperatur odpowiednich obszarów jak i różnice średnich wartości temperatur poszczególnych obszarów w trakcie trwania całego cyklu leczenia.

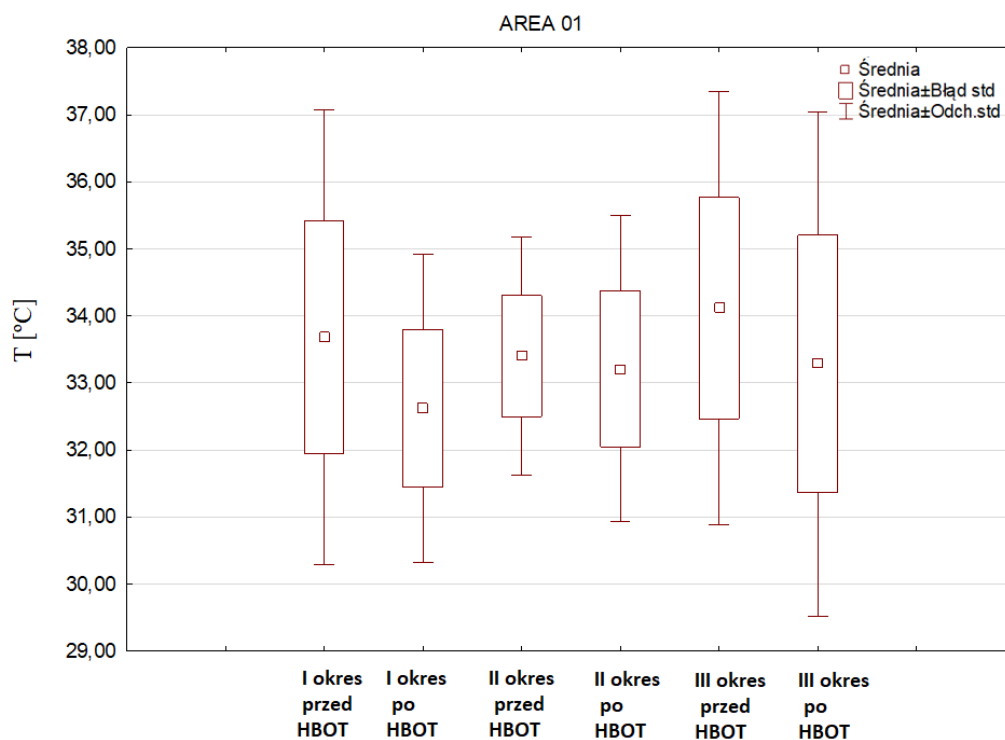
Na podstawie otrzymanych wyników widać, iż wraz z ilością wykonywanych sesji terapeutycznych dla konkretnego pacjenta, obszar rany ulega zmniejszeniu. Zmiany te są widoczne zarówno na podstawie wyników planimetrycznych, jak i liczby pikseli zliczonych z otrzymanych termogramów. Ponadto, obniżają się wartości średnich temperatur przed i po zakończonym leczeniu, co z różną intensywnością przejawia się w różnych okresach leczenia.

¹⁴⁷ Glik J., Cholewka A., **Englisz B.**, A., Stanek A., Sieroń K., Mikuś-Zagórska K., Knefel G., Nowak M., Kawecki M. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv Clin Exp Med* 2018, doi: 10.17219/acem/92304.

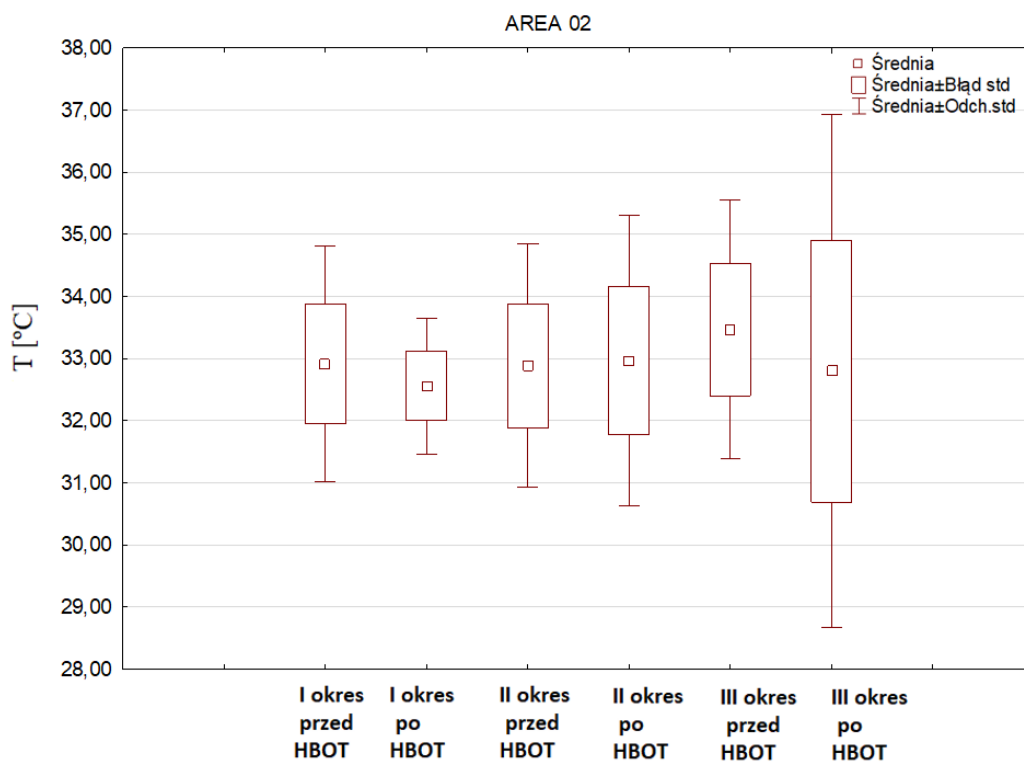
¹⁴⁸ Cholewka A., Kajewska J., Kawecki M., Sieroń-Stołtny K., Stanek A.: How to use thermal imaging in venous insufficiency?" *J. Therm. Anal. Calorim*, 2017, 130,3,1317-1326.



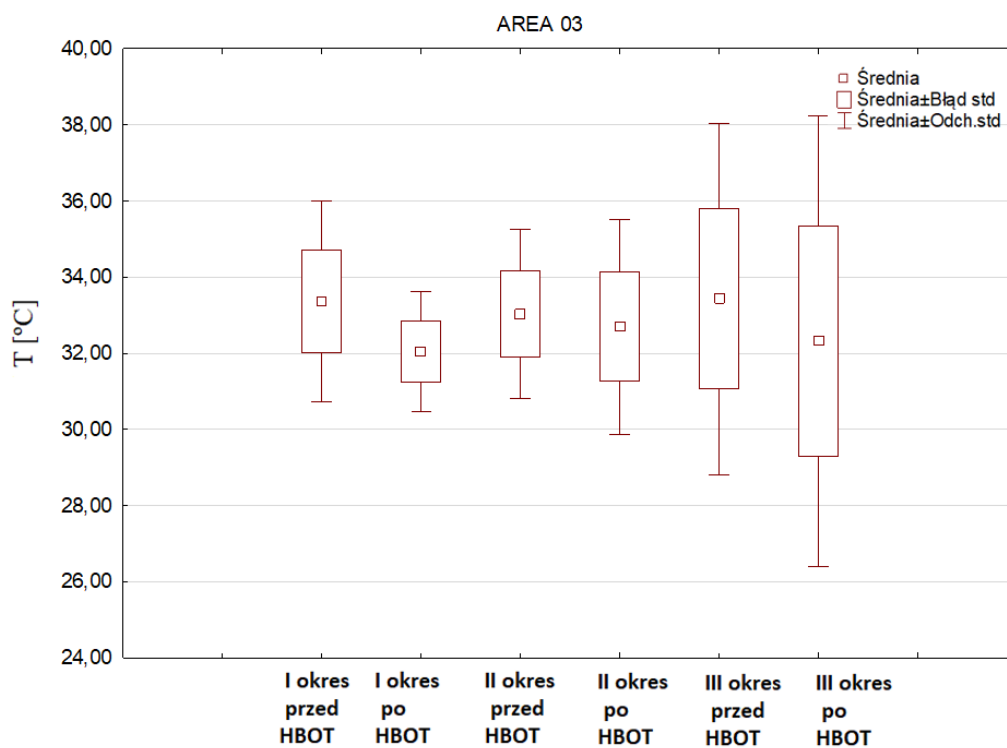
Wykres 3. Wykres przedstawiający różnice w średnich wartościach temperatur dla wszystkich obszarów zainteresowania opracowanych przed i po terapii HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów gdzie ΔT zdefiniowano jako (T_{sr} po terapii HBOT- T_{sr} przed HBOT).



Wykres 3a. Wykres przedstawiający wartości temperatur dla obszaru AR01 przed i po leczeniu HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów.



Wykres 3b. Wykres przedstawiający wartości temperatur dla obszaru AR02 przed i po leczeniu HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów.

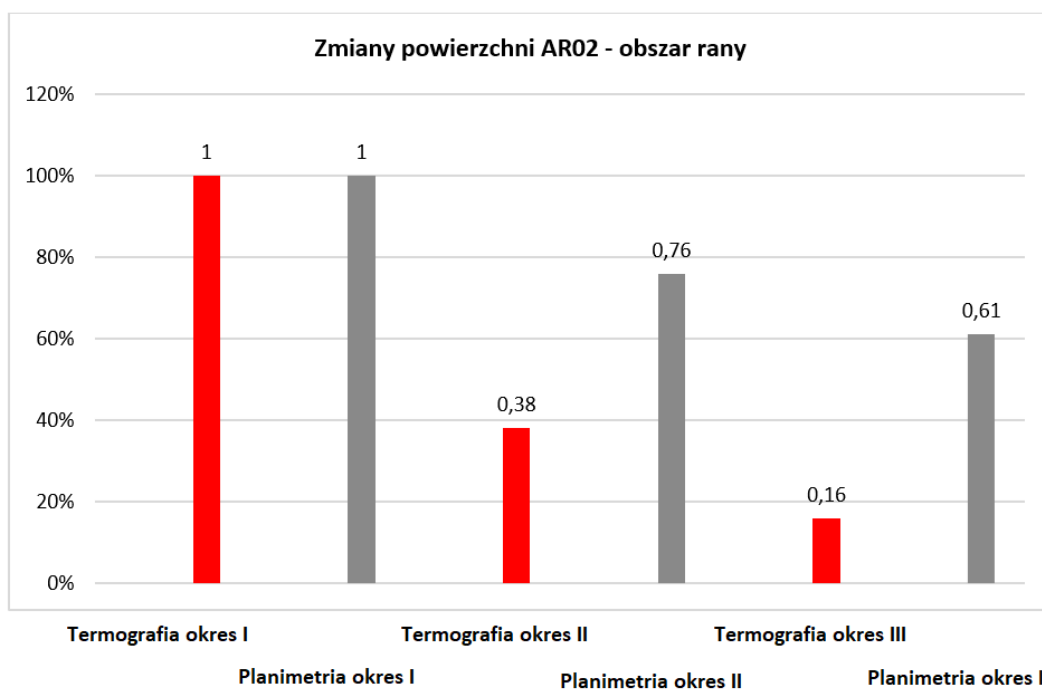


Wykres 3c. Wykres przedstawiający wartości temperatur dla obszaru AR03 przed i po leczeniu HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów.

Analizując obszary AR01 i AR02 można zauważyć, iż temperatura w trakcie prowadzonego leczenia wykazuje tendencje do obniżenia po terapii dla danego okresu. Fakt ten może sugerować poprawę przepływu krwi w naczyniach włosowatych oraz inicjację angiogenezy.

W przypadku obszaru AR03 można zauważyć wzrost temperatury w II okresie leczenia, co wskazuje na poprawę krążenia, odżywienie tkanek jak również ustąpienie obrzęku w okolicy rany. Jednakże obserwowane zmiany w temperaturze średniej nie wykazują znamienności statystycznej i mogą co najwyżej świadczyć o pewnych trendach lub tendencjach w zmianie temperatury, które na tym etapie badań i przy tej grupie badawczej nie są statystycznie udowodnione. Zwraca również uwagę wzrost temperatury widoczny na wykresie 3 w obszarze rany w okresie II. W tym przypadku może to wynikać zarówno ze zmian fizjologicznych zachodzących w ranie, które właśnie w tym czasie przejawiają się w postaci ziarninowania. Jednakże sama rana jest obszarem bardzo niewdzięcznym w analizie termograficznej, ze względu na duże zmiany w wilgotności jej powierzchni. Takie zachowanie wpływa na zmianę emisyjności obserwowanej powierzchni i w interpretacji otrzymanych wyników należy o tym pamiętać.

Ponadto, można zauważyć, że porównanie zmian temperatury powierzchni uzyskane w termografii oraz zmian struktury tkanek otrzymane w planimetrii wydają się być komplementarne, gdyż zmiany metaboliczne wykraczają poza zmiany strukturalne opisane za pomocą planimetrii, co obrazuje poniżej wykres 4 słupkowy, na którym wyraźnie widać, iż obszar ograniczony izotermą znacząco jest mniejszy niż obszar rany określony planimetrycznie, zatem można pokusić się o stwierdzenie, iż obniżenie temperatury wynikające np. ze zmniejszenia stanu zapalnego, czy też odbudowy unaczynienia jest kluczem do odbudowy (zachodzącej wolniej) tkankowej – strukturalnej ,o czym szerzej zostanie opisane poniżej.



Wykres 4.. Procentowa zmiana pola powierzchni ran obliczona dla wszystkich pacjentów w trakcie całego leczenia (z uwzględnieniem liczby pikseli zliczonych na podstawie termowizyjnej i analizy planimetrycznej).

Powyższy wykres pokazuje, że obszar objęty izotermą jest większy niż obszar rany określony planimetrycznie. W tej sytuacji widać, że zmiany stanu zapalnego w pierwszym okresie leczenia są bardziej dynamiczne niż zachodzące w tych samych okresach strukturalne. W związku z powyższym, nasuwa się wniosek, iż parametry planimetryczne oraz termowizyjne uzupełniają się.

Analizując powyższy wykres, można zauważyć znaczącą tendencję obniżania wartości temperatury obszaru rany AR02 i zmniejszania się jej powierzchni wskutek prowadzonej terapii HBOT. Wydaje się, że efekty te mogą wynikać z poprawy termoregulacji w wyniku zwiększonej podaży tlenu w tkankach. Prowadzi to do odbudowania naczyń włosowatych i zwiększonego mikrokrażenia, co można zauważyć na mapach termicznych jako spadek temperatury.

Powyższe rozważania nasuwają wnioski prowadzące do połączenia obu technik obrazowania, aby zapewnić lekarzom szybki i nieinwazyjny sposób oceny zarówno zmian strukturalnych, jak i temperaturowych, które pośrednio opisują zmiany metaboliczne tkanek, w leczeniu trudno-gojących się ran.

Biorąc pod rozważania pełny proces leczenia, który w ramach prowadzonych badań podzielono na trzy okresy, zaobserwowano ogólną tendencję obniżania temperatury badanych obszarów zainteresowania zarówno bezpośrednio po przebytej sesji HBOT jak i zmniejszania powierzchni ran w funkcji ilości sesji HBOT, które przeszli pacjenci. Wydaje się, że efekty te mogą wynikać z poprawy termoregulacji w wyniku zwiększonego dopływu tlenu w tkankach. Prowadzi to do powstawania nowych naczyń włosowatych i zwiększonego mikrokrażenia, co można zauważyć na mapach termicznych jako spadek temperatury w odpowiedzi na terapię HBOT wskutek odbudowy unaczynienia włócniczkowego odpowiadającego w głównej mierze za temperaturę powierzchni ciała.

11. Prezentacja wyników – grupa THBOT

Pomiar temperatury tkanek trudno-gojących się ran wykonywano analogicznie do procedury opisanej w rozdziale 9 oraz 9.1.

Ze względu na specyfikę leczenia wykorzystującego THBOT, gdzie podstawą procedury jest 10 sesji terapeutycznych, cały proces leczenia również podzielono na trzy etapy.

Sesję I, II i III THBOT uznano za okresy odpowiednio:

I okres leczenia (1 sesja)

II okres leczenia (5 sesja)

III okres leczenia (10 sesja)

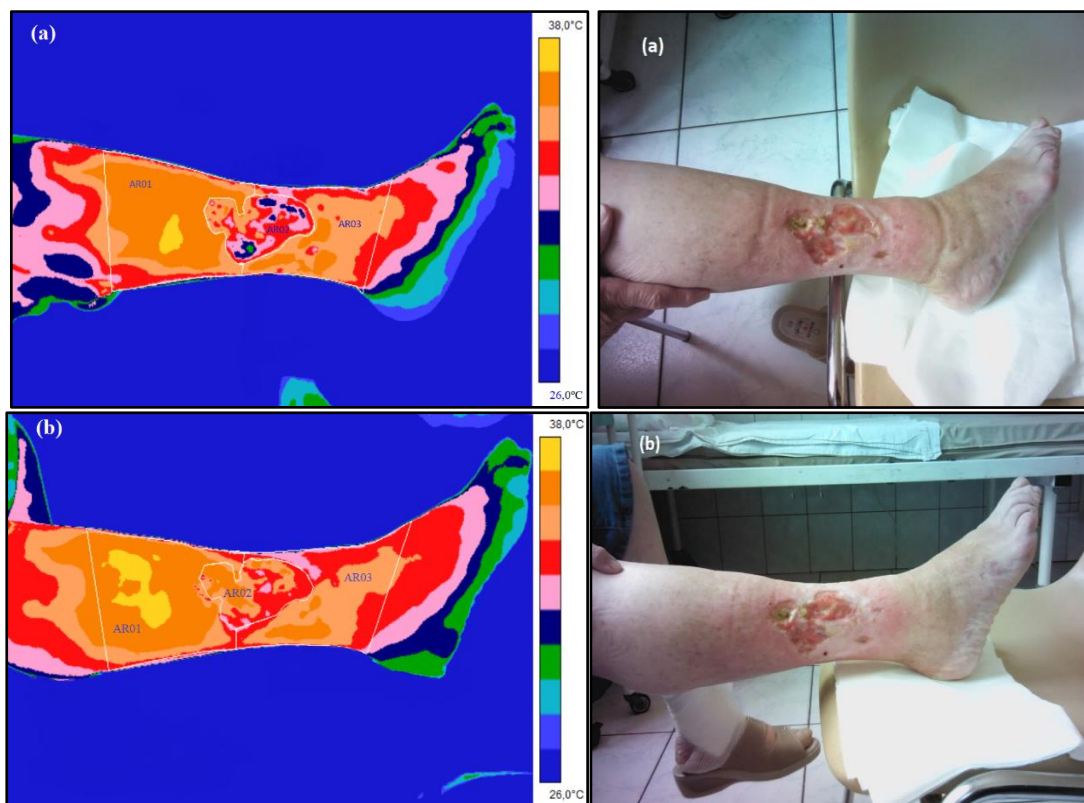
11.1 Omówienie wyników i dyskusja – grupa THBOT

Na rysunkach 12-14 zaprezentowano termogramy wykonane przed i bezpośrednio po sesji THBOT. Protokół termowizyjny składał się z trzech etapów obrazowania I okres leczenia (po 1 sesji), II okres leczenia (po 5 sesji) i III okres leczenia (po 10 sesji).

Dodatkowo w tabeli pod zdjęciami zebrano parametry termiczne charakteryzujące analizowane obszary zainteresowania, analogicznie do grupy HBOT.

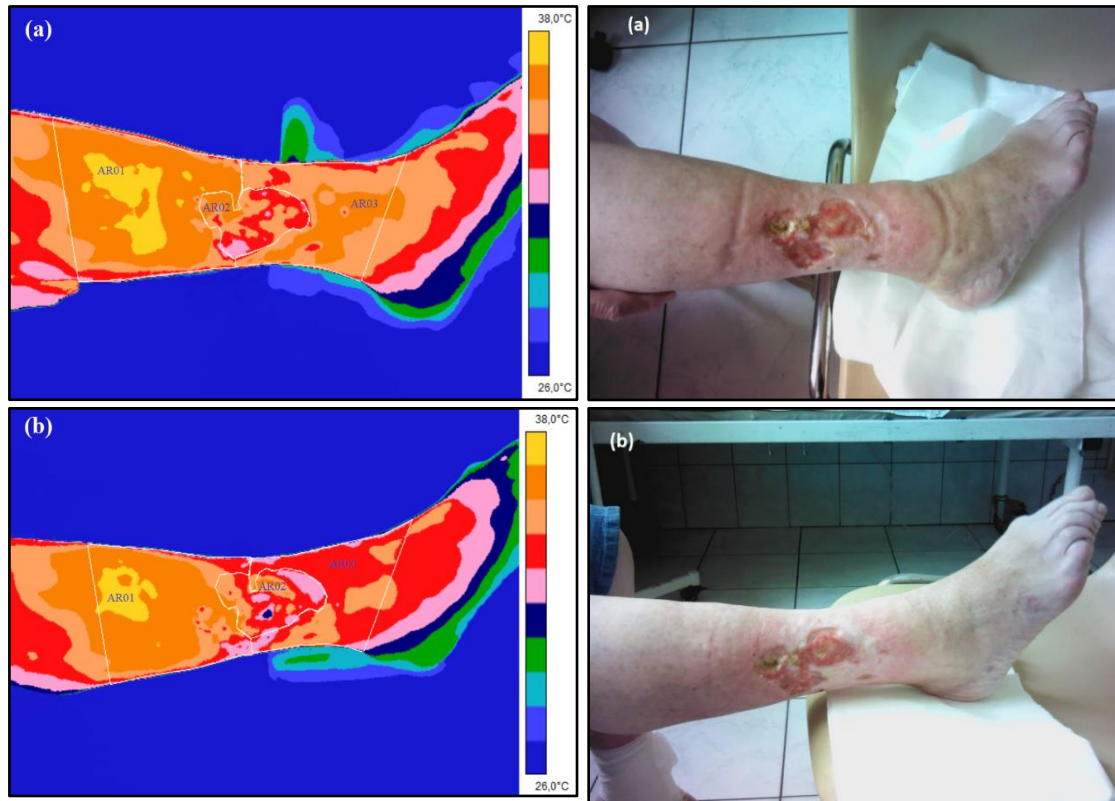
11.2 Obrazowanie termograficzne w podziale na 3 okresy leczenia THBOT

I okres leczenia (1 sesja terapeutyczna)



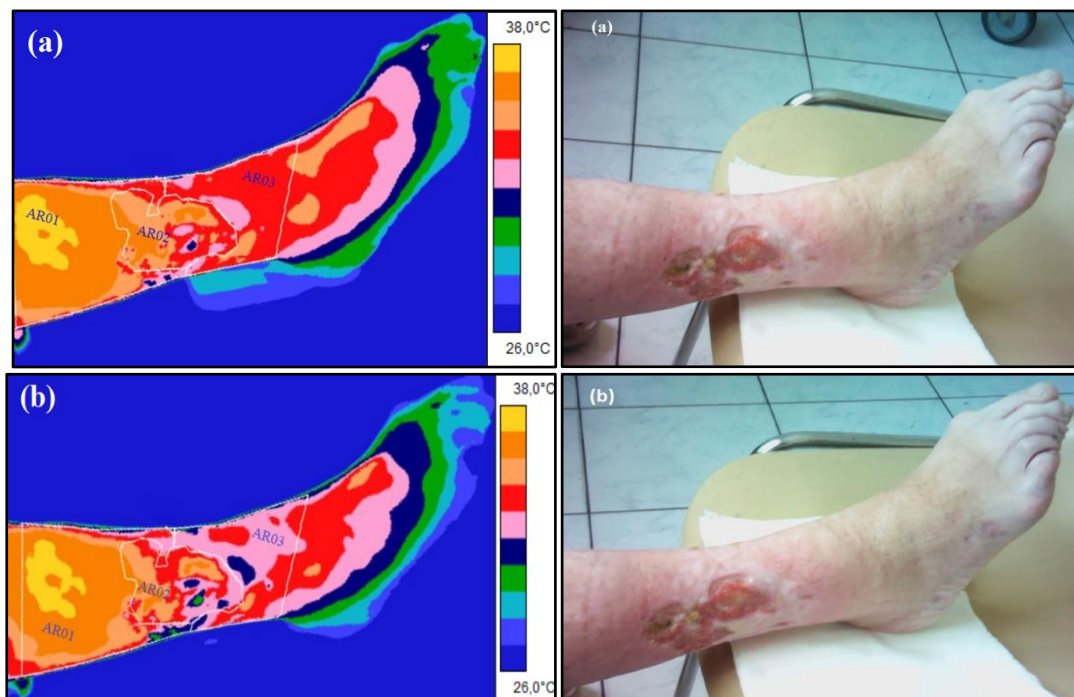
Rysunek 12. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w I okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji THBOT.

II okres leczenia (5 sesja terapeutyczna)



Rysunek 13. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w II okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji THBOT.

III okres leczenia (10 sesja terapeutyczna)



Rysunek 14. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w III okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji THBOT.

W tabeli 7 zostały zaprezentowane wartości średnich temperatur analizowanych obszarów zainteresowania w trzech okresach leczenia dla pacjentów leczonych za pomocą Oxybarii-S.

	Okres I	Okres II	Okres III	Okres I	Okres II	Okres III
Obszar	T[°C] przed THBOT			T[°C] po THBOT		
AR01	34 .41	34 .67	33 .73	34 .27	34 .16	33 .90
AR02	33 .93	34 .09	33 .49	34 .07	33 .93	33 .31
AR03	35 .42	35 .39	34 .71	35 .19	35 .11	34 .53

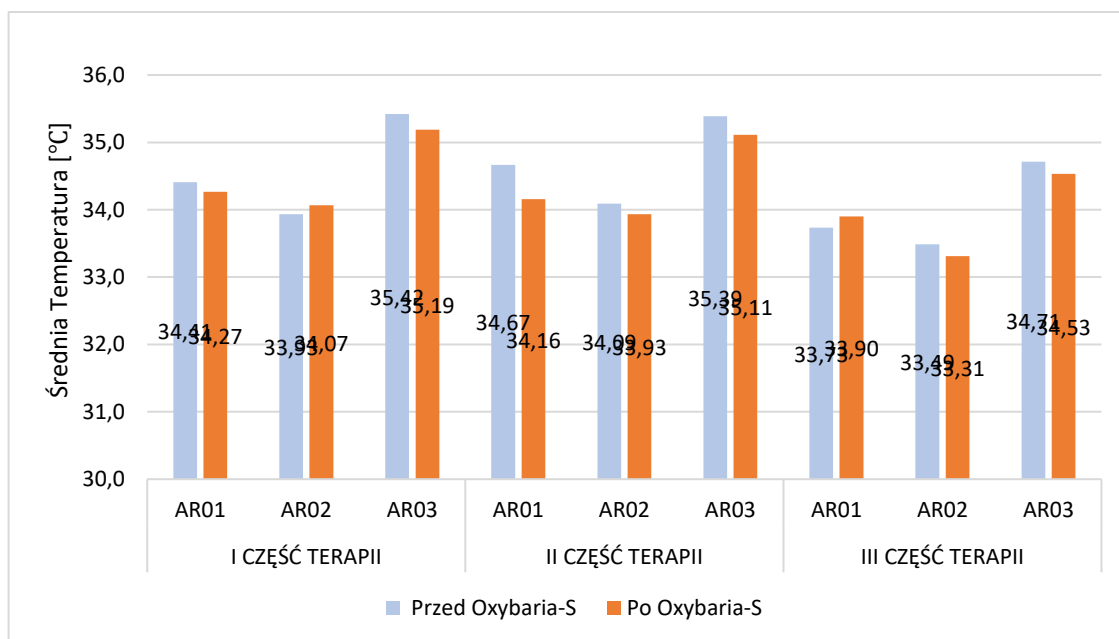
Tabela 7. Wyniki temperatury średniej wybranych obszarów zainteresowania uzyskane na podstawie obrazów termicznych reprezentatywnego pacjenta cierpiącego na trudno-gojące się rany podudzi, wykonanych przed i po THBOT we wszystkich badanych okresach leczenia.¹⁴⁹

¹⁴⁹ Michał Relich, Wykorzystanie obrazowania termicznego w ocenie efektów zastosowania Oxybarii-S w leczeniu trudno gojących się ran podudzi, Chorzów 2021.

Na termogramach może zwrócić uwagę nieznaczny wzrost temperatury po sesji THBOT w niektórych obszarach zainteresowania. Wzrost ten choć nieistotny statystycznie można uznać za tendencję, którą przedstawiają wartości średnie temperatur badanych obszarów przedstawione w tabeli 7. W związku z tym, że generalnie jakościowo odpowiedź temperaturowa obszarów zainteresowania w grupie THBOT jest zbliżona do tej obserwowanej dla grupy HBOT i opisanej we wcześniejszych rozdziałach wydaje się, iż otrzymane wartości średnie mogą wynikać z niewielkiej liczebności grupy badawczej i wpływu poszczególnych pomiarów na ostateczny wynik zmiany temperaturowej.

11.3 Analiza statystyczna – grupa THBOT

Na wykresie 5 przedstawiono zmiany średniej temperatury badanych obszarów w trzech okresach leczenia z wykorzystaniem THBOT. Zwraca uwagę obniżenie temperatury otrzymywane po sesji THBOT, jednakże wydaje się, iż jest ono o wiele mniejsze niż w przypadku HBOT, co widać z porównania wykresów 3, 3a, 3b, 3c z zebranymi wartościami średnimi otrzymanymi dla poszczególnych okresów leczenia w grupie THBOT przedstawionymi na wykresie 5. Średnia różnica otrzymana dla obszaru AR03 sięga nawet 1[°C] osiągając wyższe wartości dla THBOT.



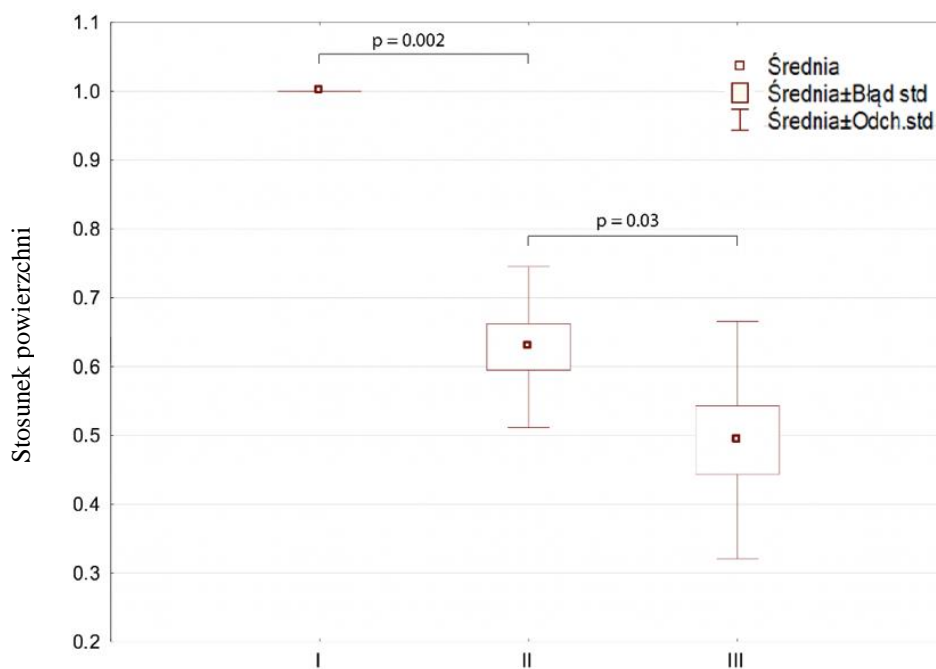
Wykres 5. Wyniki średnich wartości temperatur zebrane z wybranych obszarów zainteresowania, uzyskane na podstawie obrazowania termicznego dla całej grupy pacjentów, cierpiących na trudno- gojące się rany podudzi, wykonanych przed i po THBOT we wszystkich badanych okresach leczenia.

Pomimo, iż ilość zabiegów różni się w obu metodach jak również panujące w komorze hiperbarycznej THBOT ciśnienie jest znacząco niższe niż w komorze do ogólnoustrojowej tlenoterapii hiperbarycznej, gdzie w ramach prowadzonych badań pacjenci przebywali w atmosferze 2,5 [ATA], jakościowa analiza otrzymanych wartości temperatur wydają się być zbliżona. Szczególnie jest to widoczne w II okresie leczenia. Ponadto, zwraca uwagę wyższa średnia temperatura obszaru AR03 w metodzie grupy THBOT. Jednakże analizując trend zmian temperatury, wydaje się, iż temperatura średnia wszystkich obszarów również wykazuje tendencję do obniżenia wskutek THBOT, podobnie jak to było obserwowane w grupie HBOT.

Dla dokładniejszej analizy wpływu THBOT na odpowiedź termiczną i dynamikę zmian powierzchni ograniczonej izotermą (wartość izotermy ustalono na początku terapii i była to średnia temperatura powierzchni trudno-gojącej się rany) zmiany obszaru rany analizowano jako stosunek liczby pikseli uzyskany w II i III okresie do liczby pikseli zliczonych na początku terapii—I okres. Wyniki zaprezentowano w tabeli 8 oraz na wykresie 6.

Zmiany obszaru powierzchni rany AR02 (stosunek liczby pikseli uzyskanych w II i III okresie do liczby pikseli w I okresie)		
I	II	III
1.00	0.69	0.54
1.00	0.46	0.57
1.00	0.66	0.43
1.00	0.64	0.77
1.00	0.52	0.09
1.00	0.47	0.38
1.00	0.65	0.68
1.00	0.90	0.40
1.00	0.69	0.61
1.00	0.64	0.45
1.00	0.62	0.48
1.00	0.60	0.52

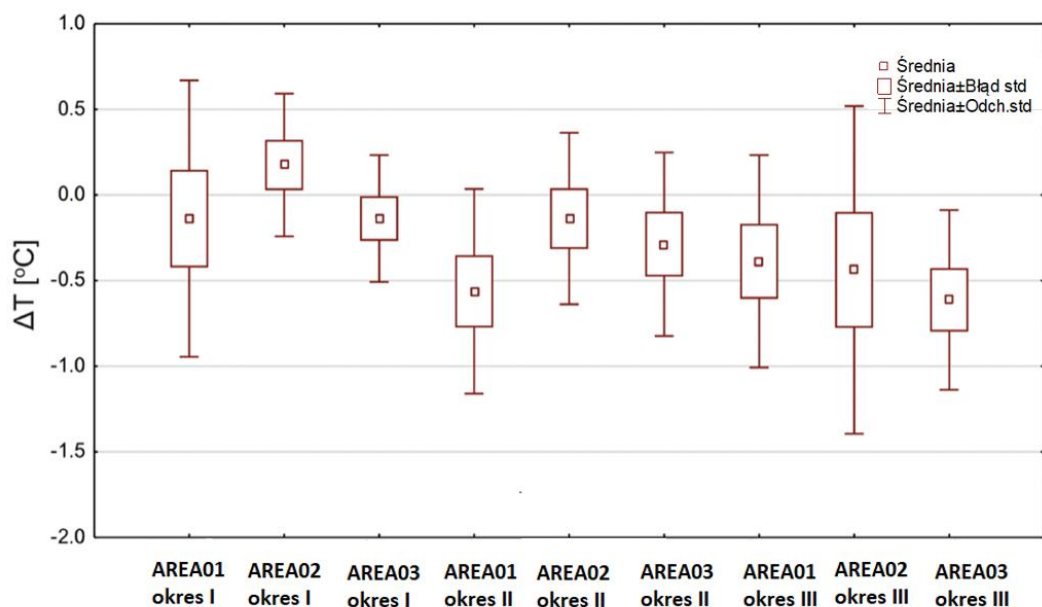
Tabela 8. Zmiany procentowe powierzchni rany liczone za pomocą obrazowania termicznego podczas trzech okresów leczenia THBOT uzyskane dla wszystkich badanych pacjentów.



Wykres 6. Zmiany pola rany uzyskane podczas terapii jako średnia dla wszystkich badanych pacjentów leczonych THBOT, brane pod uwagę jako stosunek liczby pikseli.

Otrzymane wyniki wskazały istotne statystycznie zmniejszenie obszaru izotermicznego rany wskutek terapii, co jest zbieżne z wynikami otrzymanymi dla grupy HBOT. Zatem otrzymane efekty temperaturowe wydają się być jakościowo zbliżone w obu metodach wykorzystujących podwyższone ciśnienie tlenu w terapii trudno-gojących się ran.

Dodatkowo na wykresie 7 przedstawiono różnice średnich wartości temperatur (po sesji THBOT – przed sesją THBOT) poszczególnych obszarów w trzech okresach leczenia. Analizując wykres 7 wyraźnie widać, iż THBOT podobnie jak otrzymano dla grupy HBOT powoduje obniżenie się wartości średnich temperatur przed i po zakończonym leczeniu, co z różną intensywnością przejawia się w różnych okresach leczenia przy czym temperatura średnia obszaru rany na samym początku terapii wykazuje nieznaczny wzrost wskutek THBOT.



Wykres 7. Wykres przedstawiający różnice w średnich wartościach temperatury dla wszystkich badanych obszarów przed i po leczeniu THBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów, gdzie ΔT zdefiniowano jako ($T_{\text{śr}}$ po terapii THBOT - $T_{\text{śr}}$ przed THBOT).

Ponadto, obniżenie wartości temperatury wydaje się być największe w III okresie leczenia. Takie obserwacje pokazują jakościową zgodność z wynikami przedstawionymi w niniejszej pracy dla grupy leczonej przy pomocy HBOT.

Jednakże, należy mieć na uwadze fakt, iż metodyka leczenia z wykorzystaniem THBOT uwzględnia inną ilość sesji niż w przypadku HBOT oraz dużo niższe ciśnienie parcjalne tlenu.

Grupa THBOT jest małoliczna i zaprezentowane w niniejszej pracy wyniki badań wykorzystujące lokalną tlenoterapię hiperbaryczną należy traktować jako bardzo wstępne. Pomimo tego niedawno wprowadzona na rynek medyczny technikach leczenia trudno gojących się ran nazwana Oxybaria-S wymaga prowadzenia badań nad jej wpływem na różne parametry fizyczne i fizjologiczne, co zostało uznane w czasopiśmie *Thermal Effects of Topical Hyperbaric Oxygen Therapy in Hard-to-Heal Wounds—A Pilot Study*, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, gdzie wyniki te zostały już opublikowane jako pilotażowe.¹⁵⁰

¹⁵⁰ Teresa Kasprzyk-Kucewicz, Armand Cholewka, **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Romualda Mucha, Michał Relich, Marek Kawecki, Karolina Sieroń, Patrycja Onak and Agata Stanek, Thermal Effects of Topical Hyperbaric Oxygen Therapy in Hard-to-Heal Wounds—A Pilot Study”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 6737. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136737>;

12. Podsumowanie

Grupa HBOT

Wyniki badań wykazały istotne różnice parametrów planimetrycznych i termicznych trudno-gojących się ran podudzi pacjentów poddanych tlenoterapii hiperbarycznej. Obrazowanie termiczne może stanowić bezpieczną i przydatną metodę oceny leczenia się trudno-gojących się ran leczonych tlenoterapią hiperbaryczną. Obie techniki obrazowania tj. termografię oraz planimetrię należy połączyć, ponieważ są one komplementarne i dostarczają różnych informacji prognostycznych. Przy zastosowaniu planimetrii uzyskujemy informacje strukturalne, a wykorzystanie termowizji pozwala uzyskać informacje funkcjonalne, gdzie pośrednio na podstawie zmian temperatury powierzchni ciała wnioskujemy o zmianach metabolizmu.

Zarejestrowane zmiany map termicznych w obrębie trudno-gojących się ran związane są ze zmianami metabolizmu tkanek, w których w następstwie leczenia tlenem hiperbarycznym zachodzą zmiany w lokalnym unaczynieniu wskutek prowadzonej terapii HBOT, co może być analizowane przy wykorzystaniu termowizji. W trakcie prowadzonej terapii następuje redukcja obrzęku, co znacznie ułatwia dopływ utlenowanej krwi do zmienionych chorobowo tkanek oraz przyspiesza proces gojenia się ran.

Wydaje się iż, monitorowanie z wykorzystaniem obu technik obrazowych, daje możliwość lepszej oceny postępów gojenia się ran i może pozwolić na odpowiednią modyfikację leczenia oraz szybką reakcję w sytuacji pogorszenia stanu klinicznego. Rozsądne wydaje się połączenie technik termowizyjnych i planimetrycznych, ponieważ techniki te umożliwiają ocenę efektów leczenia odpowiednio pod kątem zmian strukturalnych i funkcjonalnych.

Grupa THBOT

Otrzymane wyniki badań pokazały zmiany temperatury rany oraz okolic rany wskutek lokalnej tlenoterapii hiperbarycznej – Oxybarii-S. U wszystkich badanych pacjentów zaobserwowano obniżenie temperatury w obszarach charakteryzujących trudno-gojącą się ranę oraz tkanki przyległe. Najmniejsze różnice temperaturowe pomiędzy badanymi

obszarami zostały zaobserwowane w okresie III prowadzonej terapii. Taka reakcja temperaturowa może wskazywać na poprawę mikrokrążenia oraz termoregulacji w procesie leczenia. Obniżenie średnich temperatur uzyskane z analizy termicznej badanych obszarów, może wskazywać na zmniejszenie stanu zapalnego. Widoczna tendencja wzrostu temperatury dla obszaru rany AR02 w I etapie leczenia, może sugerować inną dynamikę procesu leczenia w porównaniu do obserwowanej w HBOT. Jednakże wynik taki może być związany z mniejszą liczbą sesji terapeutycznych wykorzystujących THBOT oraz ze znacznie niższym ciśnieniem gazu stosowanym w lokalnej tlenoterapii hiperbarycznej w porównaniu do ogólnoustrojowej tlenoterapii hiperbarycznej.

13. Wnioski

1. Zastosowanie terapii HBOT i THBOT generalnie wykazało obniżenie wartości średnich temperatur we wszystkich obszarach zainteresowania, co obserwowane jest w każdym okresie leczenia. Najbardziej dyskusyjnym obszarem w analizie temperaturowej wpływu tlenoterapii hiperbarycznych wydaje się obszar rany AR02, gdyż jest to obszar w którym mamy do czynienia z procesami gojenia m.in. wysiękiem i największą wilgotnością, co może wpływać na pomiar wykonany kamerą termowizyjną.

2. Ocena zmian wartości temperatur wybranych obszarów zainteresowania w charakterystycznych interwałach pełnego cyklu leczenia, wskazała zmniejszenie różnic temperaturowych pomiędzy poszczególnymi obszarami w trakcie trwania całej terapii, przy czym najwyraźniej było to widoczne dla grupy leczonej przy pomocy HBOT.

3. Połączenie obu technik w zakresie oceny zmian strukturalnych jakie niesie planimetria oraz zmian na poziomie termicznym/metabolicznym jakie niesie termowizja, mogą wspomóc w prognozowaniu i monitorowaniu dalszego procesu leczenia. Otrzymane mapy termiczne wykazują inne pole powierzchni rany niż mierzone za pomocą planimetrii, co sugeruje wpływ tlenoterapii hiperbarycznej na zmniejszenie stanu zapalnego i poprawę mikrokrążenia wpływając na obniżenie temperatury jak i pola powierzchni charakteryzującej stan zapalny.

Dotychczasowy dorobek naukowy autora:

1. Teresa Kasprzyk-Kucewicz, Armand Cholewka, **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Romualda Mucha, Michał Relich, Marek Kawecki, Karolina Sieroń, Patrycja Onak and Agata Stanek, Thermal Effects of Topical Hyperbaric Oxygen Therapy in Hard-to-Heal Wounds—A Pilot Study”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 6737. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136737>; IF=4,614 MEN=140., **2021**
2. **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Ewa Firganek, Grzegorz Kniefel, Marek Kawecki, Justyna Glik, Mariusz Nowak, Karolina Sieroń, Agata Stanek, *J. Therm. Anal. Calorim.* - Vol. 141, iss. 4 „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry” 1465-1475 (DOI:10.1007/s10973-019-09129-0), IF=4,626, MEN=100., **2020**.
3. **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Karolina Ziólkowska, Teresa Kasprzyk, Marek Kawecki, Justyna Glik, Mariusz Nowak, Karolina Sieroń, Agata Stanek. „Obrazowanie termiczne w ocenie oparzeń „*Fizyk Inż. Med. Fiz.*, nr 1, s.63-65, **2020**
4. Justyna Glik, Armand Cholewka, **Beata Englisz**, Agata Stanek, Karolina Sieroń, Karolina Mikuś-Zagórska, Grzegorz Kniefel, Mariusz Nowak, Marek Kawecki, „Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy” *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, ISSN 1899-5276 (print), ISSN 2451-2680 (online) DOI 10.17219/acem/92304, **2018**
5. **Beata Englisz-Jurgielewicz** „Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi” , vol. 7, nr 3, *Inżynier Fizyk Medyczny*, MEN=5., **2018**
6. **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Roksana Winkler, Łukasz Teister, Karolina Sieroń, Anna Siemianowicz, Agata Stanek, Zastosowanie obrazowania termicznego w screeningu skrzywień bocznych kręgosłupa u dzieci, The use of thermal imaging in screening of lateral curvature of spine in children, *Inżynier i Fizyk Medyczny*, VOL. 7, NR 6, ISSN 2300-1410, 367-369, **2018**
7. **Beata Englisz** „Zastosowanie kriochirurgii w dermatologii” , *Aesthetica - Dwumiesięcznik dla lekarzy medycyny estetycznej i dermatologów* – **2016**
8. Grzegorz Liszka, **Englisz Beata**, Kniefel Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Karolina Sieroń-Stołtny³, Agata Stanek⁴, Cholewka Armand¹ Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and plannimetry – first announcement, **2016**

9. **Beata Englisz**, „Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu owrzodzeń żylnych podudzi”, (praca magisterska) Katowice **2016**,

10. **Beata Englisz** Artykuł - „Współczesna krioterapia w medycynie estetycznej i bioregeneracji” Aesthetica – Dwumiesięcznik dla lekarzy medycyny estetycznej i dermatologów. **2015**

11. **Beata Englisz**, „Termograficzna ocena wpływu tlenoterapii hiperbarycznej oraz Oxybarii-S na owrzodzenia troficzne podudzi”, (praca inżynierska), Katowice **2015**

Konferencje i wystąpienia naukowe autora:

1. XXII Meeting of the Polish Society of Medical Thermography Combined with The European Association of Thermology, Zakopane, 12-14.04.**2019**

2. XXI Meeting of the Polish Society of Medical Thermography Combined with The European Association of Thermology w Zakopanem „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds studied by thermal imaging and planimetry” - **Englisz Beata**, Cholewka Armand, Firganek Ewa, Baic Agnieszka, Knefel Grzegorz, Liszka Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Sieroń-Stołtny Karolina, Stanek Agata, Hyrny hotel, Zakopane, Poland, 13–15 April **2018**.

3. 13 Śląskie Seminarium Fizyki Medycznej, Sesja Młodych Naukowców, Węgierska Górka
26-28 październik 2018, Beata Englisz-Jurgielewicz, Armand Cholewka, Roksana Winkler,
Łukasz Teister, Karolina Sieroń, Anna Siemianowicz, Agata Stanek, *“Zastosowanie obrazowania termicznego w screeningu skrzywień bocznych kręgosłupa u dzieci”*, **2018**.

4. XXI Meeting of the Polish Society of Medical Thermography Combined with The European Association of Thermology, Zakopane, 21-23.04.2017, „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds studied by thermal imaging and planimetry”

Englisz Beata, Liszka Grzegorz, Cholewka Armand, Firganek Ewa, Baic Agnieszka, Knefel Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Sieroń-Stołtny Karolina, Stanek Agata, **2017**

5. XI Śląskie Seminarium Fizyki Medycznej, Sesja Młodych Naukowców, Kroczyce,
„Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi” 17-19 listopad **2017**

ZASTOSOWANIE TERMOGRAFII I PLANIMETRII W OCENIE EFEKTÓW TLENOTERAPII HIPERBARYCZNEJ W LECZENIU OWRZODZEŃ ŻYLNICH

PODUDZI" - **Englisz Beata**, Cholewka Armand, Firganek Ewa, Knefel Grzegorz, Liszka Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Sieroń-Stołtny Karolina, Stanek Agata, Konferencja Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej, 1-3 czerwca Poznań, **2017**

6. Zastosowanie obrazowania termicznego do oceny efektów chirurgicznej dekompresji zesplu cieśni nadgarstka” A. Baic, A. Cholewka, M. Rżany, **B. Englisz**, T. Kasprzyk, A. Stanek, K. Sieroń- Stołtny, A. Granek, K. Suszyński, W. Marcol, VI Ogólnopolska Konferencja Dla Młodych Naukowców Pomiędzy Naukami, Chorzów 15 wrzesień **2017**

7. XXth Meeting of the Polish Society of Medical Thermography Combined with, The European Association of Thermology Evaluation of Hyperbaric Oxygen Therapy Effects in crural ulceration studied by thermal imaging and planimetry – first announcement” - Grzegorz Liszka, **Englisz Beata**, Knefel Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Karolina Sieroń-Stołtny, Agata Stanek, Cholewka Armand, , 3-4th July, Gdansk University of Technology, Poland, **2016**

8. „*Termograficzna ocena wpływu tlenoterapii hiperbarycznej na owrzodzenia żyłne podudzi*” - **Beata Englisz**, Agata Stanek, Karolina Sieroń-Stołtny, Marek Kawecki, Grzegorz Knefel, Mariusz Nowak, Joanna Glik, Armand Cholewka, BioMedTech 2016 - Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi ul. Wolności 345a Zabrze, Sesja BioMedTech STUDENT 4, **2016**

9. „*Termograficzna ocena wpływu tlenoterapii hiperbarycznej oraz Oxybarii-S na owrzodzenia żyłne podudzi*” **Beata Englisz**, Armand Cholewka, Karolina Sieroń-Stołtny, Agata Stanek, BioMedTech, Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi ul. Wolności 345a Zabrze, Sesja BioMedTech STUDENT cz.2, **2015**

14. Piśmiennictwo

1. Bulska J (red.). Zagrożenia zdrowia chorobami cywilizacyjnymi. Pedagogiczne konteksty badawcze. Kraków; Wydawnictwo Impuls,2008
2. Siemiński M. Środowiskowe zagrożenia zdrowia. Warszawa; Wydawnictwo PWN, 2009.
3. Lacroix P, Aboyans V, Preux PM, Houles MB, Laskar M (2003) Epidemiology of venous insufficiency in an occupational population. *Int Angiol* 2; 22:172—176
4. Cholewka A, Knefel G, Stanek A, Kawecki M, Nowak M, Sieroń A, Drzazga Z: Thermal imaging and TC oximetry measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura. *J J Therm Anal Calorim* 2012; 108(1), 25-31.
5. Brown ML, Tang W, Patel A, Baumhauer JF. Partial footamputation in patients with diabetic foot ulcers. *Foot Ankle Int*2012; 33(9): 707-16.
6. Oszkinis G., Gabriel M., Majewski W. Pukacki F, Leczenie ran trudno gojących się, Blackhorse, Warszawa, 2006
7. Armand Cholewka, Grzegorz Liszka, Tomasz Walentek, „Medycyna hiperbaryczna – podstawy fizyczne” w Aleksander Sieroń(red), Grzegorz. Cieślak (red), Zarys medycyny hiperbarycznej, α -medica Press wydanie II, Bielsko-Biała 2007
8. D. Białoszewski, E. Bocian, S. Tyski „Ozonoterapia oraz zastosowanie ozonu w dezynfekcji” *POST. MIKROBIOL* 2012
9. Sieroń A, Pasek J. OXYBARIA–S – nowatorskie urządzenie do hiperbarycznej terapii tlenowej. *Rehabil w Prakt* 2015; 1: 56.
10. G. Liszka, **B. Englisz**, G. Knefel, et all Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and planimetry- preliminary results *Thermology international* Vol 26 (2016), Supplement: 16-18
11. *Forum Medycyny Rodzinnej* 2017, tom 11, nr 2, 80–8
12. **Englisz-Jurgielewicz B.**, Cholewka A., Firganek E., Knefel G., Kawecki M., Glik J., Nowak M., Sieroń K., Stanek A., Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*

13. Glik J, Cholewka A, **Englisz B**, et al. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv Clin Exp Med*, 2018; 28: 1-8.
14. **Englisz B**, Cholewka A, Knefel G, i wsp. Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi. *Inż Fyzyk Med* 2018; 7: 139-142.
15. **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2020, 141, 1465–1475.
16. Cloud P.: Atmospheric and hydrospheric evolution on the primitive earth. *Science* 1968, 160, 729–736
17. Bartosz G.: *Druga twarz tlenu*. Warszawa PWN, 1995.
18. Bartosz G. *Druga twarz tlenu*, Warszawa 2008, wyd. 2
19. Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <http://fundacja-ozonoterapii.org>,
20. Cholewka A, Stanek A, Klimas A, Sieroń A, Drzazga Z. Thermal imaging application in chronic venous disease. Pilot study. *J Therm Anal Calorim* 2014; 115: 1609-1618.
21. Cholewka A, Kajewska J, Kawecki M, Sieroń-Stołtny K, Stanek A. How to use thermal imaging in venous insufficiency? *J Therm Anal Calorim* 2017, 130: 1317-1326.
22. Szymańska B., Kawecki M, Knefel G: Kliniczne aspekty hiperbarii tlenowej. *Wiadomości Lekarskie*, 2006, LIX, 1-2
23. Grzegorz Knefel, Piotr Wróblewski, Przemysław Strzelec, Mariusz Trzaska, Michał Werner, Marek Kucharzewski, „Zastosowanie tlenu hiperbarycznego w leczeniu oparzeń”, *Chirurgia Plastyczna i Oparzenia* 2019;17-24
24. Traczyk W.Z., Trzebski A. *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej*. PZWL, Warszawa 1980.
25. Armand Cholewka, Grzegorz Liszka, Tomasz Walentek, „Medycyna hiperbaryczna – podstawy fizyczne” w Aleksander Sieroń(red), Grzegorz. Cieślar (red), *Zarys medycyny hiperbarycznej z elementami terapii skojarzonej*, α -medica Press wydanie IV, 2022
26. D. R. Knighton, B. Halliday, T.K. Hunt, Oxygen as an antybiotic: The effect of inspired oxygen an infection. *Arch. Surg.* 1984, 119, (2), 199-204.

27. A, Cholewka, G. Kniefel, M. Kawecki, M. Nowak, A. Stanek, A. Sieroń, Z. Drzazga, Thermal Imaging and TC Oximetry Measurements of Hyperbaric Oxygen Therapy (HBO) Effects on Trophic Ulceration of the Tibias
28. Sieroń A. (Ed), Cieślak G. (Ed), Basics of Hyperbaric Medicine. A-Medica Press, Bielsko-Biała, 2006
29. Jain K.K. (red.). Textbook of hyperbaric medicine. Wyd. 4. Hogrefe & Huber Publishers, Göttingen 2004
30. Boerema I., Meyne N.G., Brummelkamp W.K.i wsp. Life without blood: a study of the influence of high atmospheric pressure and hypothermia on dilution of the blood. *J. Cardiovasc. Surg.* 1960; 1: 133–146.
31. *Balneologia Polska*; 7-17, „Aktualny stan medycyny hiperbarycznej w Polsce”, Urszula Łatka, Włodzisław Kuliński, Grzegorz Kniefel, Aleksander Sieroń
32. Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <http://krakow.wyborcza.pl/krakow/51,44425,15845443.html?i=1>
33. Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <https://clo.com.pl/>
34. Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <https://clo.com.pl/>
35. Dokument elektroniczny, tryb dostępu: <https://clo.com.pl/>
36. Gemonpre P. Burns. In: Mathieu D (ed.). *Handbook On Hyperbaric Medicine*. Springer, Dordrecht, 2006, pp. 479–49
37. Health Quality Ontario. *Hyperbaric Oxygen Therapy for the Treatment of Diabetic Foot Ulcers: A Health Technology Assessment*. *Ont Health Technol Assess Ser* 2017;17(5):1–142
38. Takahashi H., Kobayashi S. New indications for hyperbaric oxygen therapy and its complication. *Adv. Otorhinolaryngol.* 1998; 54: 1–13.
39. Davis J.C., Dunn J.M., Heimbach R.D. Hyperbaric medicine; patient selection, treatment procedures and side effects. W: Davis J.C., Hunt T.K. (red.). *Problem wounds: the role of oxygen*. Elsevier, New York 1988; 225–235
40. Źródło własne.
41. Bodzoń W.: Podstawy tlenoterapii. *Medycyna Praktyczna. Chirurgia*, 1997, nr 4(4)
42. Pasek, J.; Cieślak, G.; Sieroń, A. Evaluation of the healing progress of phlegmon related to type 2 diabetes treated with the local hyperbaric oxygen therapy. *Acta Angiol.* 2018, 24, 93–97, doi:10.5603/AA.2018.0017.
43. **B. Englisz**, „Termograficzna ocena wpływu tlenoterapii hiperbarycznej oraz oxybarii-s na owrzodzenia troficzne podudzi”, Katowice 2015.

44. J. Pasek, G. Cieślak, M. Pietrzak, L. Jagodziński, A. Sieroń, Application of physical therapy procedures in the treatment of chronic wounds of palm fingers - a case report, *Pol Med J*, 2018; XLIV (260); 68–70
45. Jarosław Pasek, Dariusz Majda, Grzegorz Cieślak, Tomasz Pasek, Aleksander Sieroń, Treatment of a forearm cut wound using localised hyperbaric oxygen therapy – a case report, June 2017 *Annales Academiae Medicae Silesiensis* 71:246-251s
46. Sieroń A, Pasek J. OXYBARIA–S – nowatorskie urządzenie do hiperbarycznej terapii tlenowej. *Rehabil w Prakt* 2015; 1: 56.
47. Sieroń A. (Ed), Cieślak G. (Ed), 2006. *Basics Of Hyperbaric Medicine*. A-Medica Press, Bielsko-Biała
48. D. Białoszewski, E. Bocian, S. Tyski „Ozonoterapia oraz zastosowanie ozonu w dezynfekcji” *POST. MIKROBIOL* 2012
49. <http://drpokrywka.pl> Dostęp: 12.04.2022
50. Teresa Kasprzyk-Kucewicz, Armand Cholewka, **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Romualda Mucha, Michał Relich, Marek Kawecki, Karolina Sieroń, Patrycja Onak, Agata Stanek, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, “Thermal Effects of Topical Hyperbaric Oxygen Therapy in Hard-to-Heal Wounds—A Pilot Study”.
51. D. Halliday, R. Resnick, Walker, *Podstawy fizyki*, PWN 2006
52. A.Z. Hryniewicz, E. Rokita, „Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii”, PWN Warszawa 2000
53. B. Szymańska, M. Kawecki, G. Knefel., *Kliniczne aspekty hiperbarii tlenowej*, *Wiadomości Lekarskie* 2006, LIX, 1-2
54. A, Cholewka, G. Knefel, M. Kawecki, M. Nowak, A. Stanek, A. Sieroń, Z. Drzazga, *Thermal Imaging and TC Oximetry Measurements of Hyperbaric Oxygen Therapy (HBO) Effects on Trophic Ulceration of the Tibias*
55. Sieroń A. (Ed), Cieślak G. (Ed), 2006. *Basics Of Hyperbaric Medicine*. A-Medica Press, Bielsko-Biała
56. A. Pilawski, *Podstawy biofizyki*.
57. A.Z. Hryniewicz, E. Rokita, „Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii”, PWN Warszawa 2000
58. Fick A.E.: Über diffusion. *Prog. Ann*, 94 (1855) 59
59. Cieślak G, Nowak M, Kawecki M, Glinka M, Sieroń A. Zastosowanie zmiennych pól magnetycznych w leczeniu ran. *Leczenie Ran* 2005; 2: 99-106.

60. Krasowski G. Leczenie ran przewlekłych. Cz. I. Definicja, etiologia, epidemiologia, fizjologia i patofizjologia gojenia się ran. Dostępne na: www.mp.pl
61. Szewczyk MT, Jawień A. Leczenie ran przewlekłych. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2012
62. Vasudevan B. Venous leg ulcers: Pathophysiology and classification. *Indian Dermatol Online J* 2014; 5: 366-370
63. Windak A, Chlabicz S, Mastalerz-Migas A (red.). *Medycyna rodzinna – podręcznik dla lekarzy i studentów*. Termedia, Poznań 2015.
64. Oszkinis G., Gabriel M., Majewski W. Pukacki F, *Leczenie ran trudno gojących się*, Blackhorse, Warszawa, 2006
65. Homans J, The etiology et treatment of varicose ulcer of the leg, *Surg Gynecol Obstet* 1917
66. Negus D., Coleridge Smith P.D, *Diagnostyka różnicowa owrzodzeń podudzi*, W: *Owrzodzenia podudzi-diagnostyka i leczenie* (red. Negus D., Coleridge Smith P.D, Bergan J.J.) Alfa-medica Press, Bielsko-Biała, 2006
67. McDaniel JC, Browning KK. Smoking, chronic wound healing, and implications for evidence-based practice. *J Wound Ostomy Continence Nurs* 2014; 41:415-423
68. Arya AK, Tripathi R, Kumar S, Tripathi K. Recent advances on the association of apoptosis in chronic non healing diabetic wound. *World J Diabetes* 2014; 5:756-762.
69. W. Twardokęs, A. Kołodziej, A. Ślęzak „Opis mechanizmu gojenia się żylnego owrzodzenia goleni” Evereth Publishing 2015
70. Scotton MF, Miot HA, Abbade LP. Factors that influence healing of chronic venous leg ulcers: a retrospective cohort. *A Bras Dermatol* 2014; 89: 414-422.
71. Arya AK, Tripathi R, Kumar S, Tripathi K. Recent advances on the association of apoptosis in chronic non healing diabetic wound. *World J Diabetes* 2014; 5:756-762.
72. McDaniel JC, Browning KK. Smoking, chronic wound healing, and implications for evidence-based practice. *J Wound Ostomy Continence Nurs* 2014; 41: 415-423.
73. Sibbald R.G., Williamson D., Orsted H.L., et al., Preparing the Wound Bed-Debridement, Bacterial Balance, and Moisture Balance. *Ostomy Wound Mnage* 2000;46(11):14-22, 24-8, 30-5.
74. Ciecierski M, *Obraz kliniczny przewlekłych zaburzeń żylnych*, W: *Przewlekłe zaburzenia żylna*, (red. JawieńA.). Termedia Wydawnictwo, Poznań 2006.
75. Homans J, The etiology et treatment of varicose ulcer of the leg, *Surg Gynecol Obstet* 1917.

76. M. Kózka, Żylne owrzodzenia podudzi, *Magazyn Medyczny – Lekarz Rodzinny* 3/2002.
77. **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Ewa Firganek, Grzegorz Knefel, Marek Kawecki, Justyna Glik, Mariusz Nowak, Karolina Sieroń, Agata Stanek.//” „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry” *J. Therm. Anal. Calorim.* - Vol. 141, iss. 4 (2020), s. 1465-1475.
78. **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka „Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi” 2018, vol. 7, nr 3, *Inżynier Fizyk Medyczny*.
79. Negus D., Coleridge Smith P.D, *Diagnostyka różnicowa owrzodzeń podudzi*, W: *Owrzodzenia podudzi diagnostyka i leczenie* (red. Negus D., Coleridge Smith P.D, Bergan J.J.) Alfa-medicaPress, Bielsko-Biała, 2006.
80. Miłek T, Goliszewski J, Kwiatkowski W, [i wsp.]. Niewydolność żylna kończyn dolnych według klasyfikacji CEAP u kobiet w ciąży. *Prze Flebol.* 2001, 9, 23-25.
81. Miłek T, Miłek T, Goliszewski J, [i wsp.] Przewlekła niewydolność żylna kończyn dolnych u kobiet w ciąży wg klasyfikacji CEAP. *Med Dypł.* 2002, 11/6, 139-148.
82. Kasperczyk Jarosław¹, Ropacka-Lesiak Mariola², Bręborowicz H. Grzegorz², ¹ Oddział Chirurgiczny, Wojewodzki Szpital w Kaliszu, Polska; ² Klinika Perinatologii I Ginekologii, Uniwersytet Medyczny, Poznań, Polska, Definicja, podział oraz diagnostyka przewlekłej niewydolności żylniej – część II.
83. „Owrzodzenia żylna jako problem interdyscyplinarny”, *Spondylus*, 2011, Maria T. Szewczyk, Arkadiusz Jawień.
84. Jawień A., rybak Z., Cencora A., Szewczyk M.T., Górkiewicz-Petkow A., Oszkinis G., Wytyczne Polskiego Towarzystwa Leczenia Ran w sprawie gojenia owrzodzeń żylnych goleni. *Leczenie Ran* 2006;3(4):103-112.
85. Cholewka Armand, Knefel Grzegorz, Stanek Agata, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Sieroń Aleksander, Drzazga Zofia: Thermal imaging and TC oximetry measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura. *J J Therm Anal Calorim* 2012; 108(1), 25-31.
86. Levy BI, Ambrosio G, Pries AR, et al. Microcirculation in hypertension: a new target for treatment? *Circulation.* 2001; 104(6): 735–740.

87. Forum Medycyny Rodzinnej 2017, tom 11, nr 2, 80–88, „Przezskórny pomiar prężności tlenu w ocenie stanu mikrokrążenia”, Magdalena Hoffmann, Jolanta Neubauer-Geryk, Grzegorz Kozera, Leszek Bieniaszewski.
88. Kałuża G., Rybak Z., Pupka A., Jurkiewicz P., Patrzalak D., Langer M., Szyber P., „Własna metoda oceny skuteczność leczenia owrzodzeń żylnych golenia na podstawie zmian ich pola powierzchni”.
89. **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Armand Cholewka, Ewa Firganek, Grzegorz Knefel, Marek Kawecki, Justyna Glik, Mariusz Nowak, Karolina Sieroń, Agata Stanek.// „Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry” //J. Therm. Anal. Calorim. - Vol. 141, iss. 4 (2020), s.
90. Biolik G., Kostyra J., Nowakowski P., Kuczmik W., Ziaja D., Ziaja K., Zespół pozakrzepowy – aktualny stan wiedzy na temat patomechanizmu choroby i nowych aspektów leczenia. Chir Pol 2006;8(2):156-163.
91. Gorin D.R., Cordts P.R., LaMorte W.W., Manzoian J.O., The influence of wound geometry on the measurement of wound healing rates in clinical trials. J Vasc Surg 1996;23(3):524-528.
92. E.F.J. Ring, K. Ammer: The technique of infrared imaging in medicine, Thermology International, vol. 10(1), 2000, s. 7-14.
93. I. Simon, Promieniowanie Podczerwone, PWN, Poznań 1968.
94. D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki Tom 2, PWN Warszawa 2005.
95. J. Bauer, A. Skrzek, Fizjologiczne podstawy krioterapii, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 3(2–4), 1998.
96. G. Straburzyński, A. Straburzyńska-Lupa, Medycyna fizykalna, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2000.
97. „Układ termoregulacji człowieka i wpływ czynników atmosferycznych na odczucia ciepła człowieka” dr hab. n. med. Barbara Nieradko-Iwanicka, Katedra i Zakład Higieny Uniwersytetu Medycznego w Lublinie.
98. B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne, PWN 1980.
99. I. Simon, Promieniowanie Podczerwone, PWN, Poznań 1968.
100. D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki Tom 2, PWN Warszawa 2005.
101. I. Simon, Promieniowanie Podczerwone, PWN, Poznań 1968.
102. B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne, PWN 1980.

103. Paruch M., Zastosowanie metod identyfikacji w wybranych zagadnieniach przepływu biociepła, Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska w Gliwicach, Gliwice 2005.
104. Majchrzak E., Modelowanie przepływu ciepła w organizmach żywych – zastosowania w inżynierii biomedycznej, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Metod Komputerowych Mechaniki, Politechnika Śląska w Gliwicach.
105. Minkina W. Pomiary termowizyjne - przyrządy i metody. Częstochowa, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2004.
106. „Pomiary termowizyjne w praktyce”, praca zbiorowa pod red. H. Madury, Agenda Wydawnicza PAKu, Warszawa, 2004, ISBN 83-87982-26-1.
107. Ring EFJ, Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol Int* 2000; 10: 7-14.
108. B. Więcek, G. De Mey „Termowizja w podczerwieni – podstawy i zastosowanie”, Wydawnictwo PAK, 2011.
109. B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne”, PWN 1980.
110. „Pomiary termowizyjne w praktyce”, praca zbiorowa pod red. H. Madury, Agenda Wydawnicza PAKu, Warszawa, 2004, ISBN 83-87982-26-1.
111. Minkina W. Pomiary termowizyjne - przyrządy i metody. Częstochowa, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2004.
112. B. Staniszewski, Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne, PWN 1980.
113. I. Simon, Promieniowanie Podczerwone, PWN, Poznań 1968.
114. D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki Tom 2, PWN Warszawa 2005.
115. A.Z. Hrynkiewicz, E. Rokita, Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii, PWN Warszawa 2000.
116. Cholewka, A.; Stanek, A.; Sieroń, A.; Drzazga, Z. Thermovision in physical medicine. In *Biomedical application of Thermovision*; Podbielska, H., Skrzek, A., Eds.; Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej: Wrocław, Poland, 2013.
117. Cholewka, A.; Drzazga, Z.; Sieroń, A.; Stanek, A.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Nowak, M. Some Applications of Thermal Imaging in Medicine. In *Some Aspects of Medical Physics—In Vivo and In Vitro Studies*; Drzazga, Z., Ślosarek, K., Eds.; Polish Journal of Environmental Studies, Olsztyn, Poland, 2010, pp. 51-58.
118. Bauer J, Dereń E. Standaryzacja badań termograficznych w medycynie i fizykoterapii. *Inż Biomed* 2014;20(1):11.

119. Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas* 2012;33(3): R33–R46.
120. Pabisiak K, Romanowski M, Myslak M, Szydłowski L, Sieńko J, Domański L, et al. Variations in temperature of the donor kidney during cold ischemia time and subsequent assessment of reperfusion using the application of thermovision camera. *Transplant Proc* 2003;35(6):2157-9.
121. Xue EY, Chandler LK, Viviano SL, Keith JD. Use of FLIR ONE Smartphone thermography in burn wound assessment. *Ann Plast Surg* 2018;80(4): S236-8
122. Simmons JD, Kahn SA, Vickers AL, Crockett ES, Whitehead JD, Krecker AK, et al. Early assessment of burn depth with far infrared time lapse thermography. *J Am Coll Surg* 2018;226(4):687-93.
123. Maksymowicz K, Dudek K, Bauer J, Jurek T, Drozd R. Ocena możliwości zastosowania techniki termowizyjnej w diagnostyce medyczno-sądowej. *Podstawy teoretyczne. Ann Acad Med Stetin* 2007;53(2):102-6.
124. Cholewka, A.; Knefel, G.; Stanek, A.; Kawecki, M.; Nowak, M.; Sieroń, A.; Drzazga, Z. Thermal imaging and TC oximetry measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2012, 108, 25–31.
125. Cholewka, A.; Kajewska, J.; Kawecki, M.; Sieroń-Stołtny, K.; Stanek, A. How to use thermal imaging in venous insufficiency? *J. Therm. Anal. Calorim.* 2017, 130, 1317–1326.
126. Glik, J.; Cholewka, A.; **Englisz, B.**; Stanek, A.; Sieroń, K.; Mikuś-Zagórska, K.; Knefel, G.; Nowak, M.; Kawecki, M. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2018, doi:10.17219/acem/92304.
127. Liszka, G.; **Englisz, B.**; Knefel, G. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and planimetry- preliminary results. *Thermol. Int.* 2016, 26, 16–18.
128. **Englisz B**, Cholewka A, Knefel G, i wsp. Zastosowanie termografii i planimetrii w ocenie efektów tlenoterapii hiperbarycznej w leczeniu trudno gojących się ran podudzi. *Inż Fizyk Med* 2018; 7: 139-142.
129. Ring EFJ and Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol. Intern.* 2000; 10(1): 7-14.

130. Bauer J, Dereń E. Standardization of Infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2014;20(1):11–20.
131. Ring EFJ and Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol. Intern.* 2000; 10(1): 7-14.
132. Bauer J, Dereń E. Standardization of Infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2014;20(1):11–20.
133. Ring EFJ and Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol. Intern.* 2000; 10(1): 7-14.
134. Bauer J, Dereń E. Standardization of Infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2014;20(1):11–20.
135. Cholewka A, Kajewska J, Kawecki M, Sieroń-Stołtny K, Stanek A. How to use thermal imaging in venous insufficiency? *J Therm Anal Calorim* 2017, 130:1317-1326.
136. **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2020, 141, 1465–1475.
137. **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2020, 141, 1465–1475.
138. **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2020, 141, 1465–1475.
139. Armand. Cholewka, Agata Stanek, Aleksandra Klimas, Aleksander Sieroń, Zofia Drzazga, Thermal imaging application in chronic venous disease: pilot study, *J Therm Anal Calorim.*
140. Grzegorz Liszka, **Englisz Beata**, Knefel Grzegorz, Kawecki Marek, Nowak Mariusz, Karolina Sieroń-Stołtny, Agata Stanek, Cholewka Armand¹ Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and plannimetry – first announcement, 2016.
141. Armand Cholewka, Grzegorz Knefel, Agata Stanek, Marek Kawecki, Mariusz Nowak, Aleksander Sieroń, Zofia Drzazga: Thermal imaging and TC oximetry

measurements of hyperbaric oxygen therapy (HBO) effects on trophic ulceration of the crura. *J J Therm Anal Calorim* 2012; 108(1), 25-31.

142. Londahl M. Hyperbaric oxygen therapy as treatment of diabetic foot ulcers. *Diabetes Metab. Res. Rev* 2012; 28(1): 78–84.

143. Sieroń A, Cierpka L, Rybak Z, Stanek A (2009) *Podręcznik angiologii*. alfa-medica press, Bielsko-Biała, pp. 274-276.

144. **Englisz-Jurgielewicz, B.**; Cholewka, A.; Figranek, E.; Knefel, G.; Kawecki, M.; Glik, J.; Nowak, M.; Sieroń, K.; Stanek, A. Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in hard-to-heal wounds using thermal imaging and planimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2020, 141, 1465–1475.

145. Glik J., Cholewka A., **Englisz B.**, A., Stanek A., Sieroń K., Mikuś-Zagórska K., Knefel G., Nowak M., Kawecki M. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv Clin Exp Med* 2018, doi: 10.17219/acem/92304.

146. G. Liszka, **B. Englisz**, G. Knefel, et all Evaluation of hyperbaric oxygen therapy effects in ulceration of cruras studied by thermal imaging and planimetry- preliminary results *Thermology international Vol 26 (2016), Supplement: 16-18*

147. Glik J., Cholewka A., **Englisz B.**, A., Stanek A., Sieroń K., Mikuś-Zagórska K., Knefel G., Nowak M., Kawecki M. Thermal imaging and planimetry evaluation of the results of chronic wounds treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Adv Clin Exp Med* 2018, doi: 10.17219/acem/92304.

148. Cholewka A., Kajewska J., Kawecki M., Sieroń-Stołtny K., Stanek A.: How to use thermal imaging in venous insufficiency?" *J. Therm. Anal. Calorim*, 2017, 130,3,1317-1326.

149. Michał Relich, Wykorzystanie obrazowania termicznego w ocenie efektów zastosowania Oxybarii-S w leczeniu trudno gojących się ran podudzi, Chorzów 2021.

150. Teresa Kasprzyk-Kucewicz, Armand Cholewka, **Beata Englisz-Jurgielewicz**, Romualda Mucha, Michał Relich, Marek Kawecki, Karolina Sieroń, Patrycja Onak and Agata Stanek, Thermal Effects of Topical Hyperbaric Oxygen Therapy in Hard-to-Heal Wounds—A Pilot Study”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 6737. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136737>;

15. Spis rysunków

<i>Rysunek 1. Komora jednoosobowa.....</i>	<i>13</i>
<i>Rysunek 2. Komora wieloosobowa (Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich).....</i>	<i>13</i>
<i>Rysunek 3. Komora wieloosobowa (Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich).....</i>	<i>13</i>
<i>Rysunek 4. Komora wieloosobowa (Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich).....</i>	<i>14</i>
<i>Rysunek 5. Komora tlenoterapii miejscowej OXYBARIA—S.</i>	<i>18</i>
<i>Rysunek 6. Prezentacja wybranych obszarów zainteresowania analizowanych dla całej grupy pacjentów.....</i>	<i>54</i>
<i>Rysunek 7. Przykładowe zdjęcie planimetryczne z zaznaczonymi obszarami oraz wartościami pomiarowymi.....</i>	<i>55</i>
<i>Rysunek 8. Zdjęcia termowizyjne oraz cyfrowe reprezentatywnego pacjenta cierpiącego na trudno gojące się rany wykonane w I okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji HBOT.</i>	<i>56</i>
<i>Rysunek 9. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w II okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji HBOT.....</i>	<i>57</i>
<i>Rysunek 10. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w III okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji HBOT.</i>	<i>58</i>
<i>Rysunek 11. Przykład zdjęć wykonanych za pomocą planimetrii, z zaznaczonymi obszarami zainteresowania, z wartościami zebranymi w tabeli pod zdjęciami dla reprezentatywnego pacjenta we wszystkich trzech okresach leczenia (okres A-I, okres B-II, okres C-III).....</i>	<i>59</i>
<i>Rysunek 12. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w I okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji THBOT.....</i>	<i>68</i>
<i>Rysunek 13. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w II okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji THBOT.</i>	<i>69</i>
<i>Rysunek 14. Zdjęcia termograficzne oraz zdjęcia cyfrowe pacjenta z trudno gojącymi się ranami wykonane w III okresie leczenia przed (a) i po (b) sesji THBOT.</i>	<i>70</i>

16. Spis tabel

<i>Tabela 1. Podział kliniczny</i>	29
<i>Tabela 2. Podział etiologiczny</i>	29
<i>Tabela 3. Podział anatomiczny</i>	30
<i>Tabela 4. Podział patofizjologiczny</i>	30
<i>Tabela 5. Wyniki temperatury średniej wybranych obszarów zainteresowania uzyskane na podstawie zdjęć termicznych reprezentatywnego pacjenta wykonanych przed i po HBO we wszystkich badanych okresach leczenia</i>	58
<i>Tabela 6. Wyniki reprezentatywnego pacjenta dla obszaru rany AR02 dla trzech okresów leczenia HBO</i>	60
<i>Tabela 7. Wyniki temperatury średniej wybranych obszarów zainteresowania uzyskane na podstawie obrazów termicznych reprezentatywnego pacjenta cierpiącego na trudno- gojące się rany podudzi, wykonanych przed i po THBOT we wszystkich badanych okresach leczenia</i>	70
<i>Tabela 8. Zmiany procentowe powierzchni rany liczone za pomocą obrazowania termicznego podczas trzech okresów leczenia THBOT uzyskane dla wszystkich badanych pacjentów</i>	72

17. Spis wykresów

<i>Wykres 1. Sekwencje przerw tlenowych w trakcie sesji HBOT</i>	15
<i>Wykres 2. Przykładowy rozkład promieniowania ciała doskonale czarnego dla różnych temperatur</i>	43
<i>Wykres 3. Wykres przedstawiający różnice w średnich wartościach temperatur dla wszystkich obszarów zainteresowania opracowanych przed i po terapii HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów gdzie ΔT zdefiniowano jako (T_{sr} po terapii HBOT- T_{sr} przed HBOT)</i>	63
<i>Wykres 3a. Wykres przedstawiający wartości temperatur dla obszaru AR01 przed i po leczeniu HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów</i>	63

Wykres 3b. Wykres przedstawiający wartości temperatur dla obszaru AR02 przed i po leczeniu HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów.....	64
Wykres 3c. Wykres przedstawiający wartości temperatur dla obszaru AR03 przed i po leczeniu HBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów.....	64
Wykres 4. Procentowa zmiana pola powierzchni ran obliczona dla wszystkich pacjentów w trakcie całego leczenia (z uwzględnieniem liczby pikseli zliczonych na podstawie termowizyjnej i analizy planimetrycznej).....	66
Wykres 5. Wyniki średnich wartości temperatur zebrane z wybranych obszarów zainteresowania, uzyskane na podstawie zdjęć termicznych dla całej grupy pacjentów, cierpiących na trudno-gojące się rany podudzi, wykonanych przed i po THBOT we wszystkich badanych okresach leczenia.....	71
Wykres 6. Zmiany pola rany uzyskane podczas terapii jako średnia dla wszystkich badanych pacjentów leczonych THBOT,brane pod uwagę jako stosunek liczby pikseli.....	73
Wykres 7. Wykres przedstawiający różnice w średnich wartościach temperatury dla wszystkich badanych obszarów przed i po leczeniu THBOT, we wszystkich trzech okresach leczenia dla wszystkich pacjentów, gdzie ΔT zdefiniowano jako (T_{sr} po terapii THBOT- T_{sr} przed THBOT).....	74