

Obrazowanie termograficzne w tlenoterapii hiperbarycznej (HBO)

Thermal imaging in hyperbaric oxygen therapy (HBO)

Armand Cholewka¹, Zofia Drzazga¹, Grzegorz Kniefel², Marek Kawecki², Mariusz Nowak²

¹ Instytut Fizyki im. A. Chelkowskiego, Uniwersytet Śląski, ul. Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice, tel. +48 (32) 359 17 46, e-mail: armand.cholewka@gmail.com

² Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich, ul. Jana Pawła II 2, 41-100 Siemianowice Śląskie

Streszczenie

Odpowiedź temperatury skóry na tlenową terapię hiperbaryczną dla grupy złożonej z 19 pacjentów (wiek 51 ± 15) cierpiących na owrzodzenia troficzne podudzi badano z wykorzystaniem termowizji. Analizowano zmiany średniej temperatury w wybranych obszarach związanych z owrzodzeniami troficznymi na podudziach. Badania wykazały istotne statystycznie zmiany temperatury skóry, powodowane 86-minutowym pobytem w komorze hiperbarycznej. Zaobserwowano dwa rodzaje temperaturowej odpowiedzi na tlenoterapię hiperbaryczną. U większości pacjentów obserwowano spadek, jednakże u niektórych pacjentów zaobserwowano wzrost temperatury tkanki zmienionej chorobowo. Analiza wyników wskazuje, iż termowizja może być metodą przydatną w monitorowaniu efektów tlenoterapii hiperbarycznej.

Słowa kluczowe: termografia, temperatura, owrzodzenia troficzne podudzi, tlenoterapia hiperbaryczna

Abstract

The skin temperature response to the hyperbaric oxygen therapy in a group of 19 patients and 6 volunteers in age 51 ± 15 and 6 healthy was studied by using of the thermal imaging. All patients suffered from trophic ulceration of lower limbs. The mean temperature parameter derived from chosen areas and lines in the tibias were taken into consideration. The studies showed significant changes of skin temperature due to 86 minutes of hyperbaric oxygen therapy. There were observed two types of skin thermal behaviour. For most of the patients it was observed the decrease of tibia's skin temperature however there were patients for whom the increase of skin temperature was observed. It seems that thermal imaging can be useful in monitoring of hyperbaric oxygen therapy effects.

Keywords: thermography, temperature, trophic ulceration of lower limbs, hyperbaric oxygen therapy

Wprowadzenie

Terapia tlenem hiperbarycznym (*hyperbaric oxygen therapy* – HBO), często potocznie zwaną hiperbarią, jest to dziedzina medycyny fizykalnej, zajmująca się wpływem wyższego ciśnienia niż ciśnienie atmosferyczne na organizm ludzki oraz wykorzystaniem korzystnych aspektów podwyższonego ciśnienia tlenu w terapii. Jej szczególnie dynamiczny rozwój przypada na ostatnie dziesięciolecia, kiedy to nie tylko budowano ośrodki zajmujące się medycyną hiperbaryczną, ale również instalowano komory hiperbaryczne w klinikach

i szpitalach, aby wykorzystywać tlenoterapię hiperbaryczną w leczeniu różnorodnych schorzeń [1-6].

Gazem najczęściej stosowanym w terapii hiperbarycznej jest 100% tlen.

Podczas terapii organizm człowieka jest poddawany działaniu wyższego niż atmosferyczne ciśnienie (głównie 1,5 do 3 ata) w specjalnych komorach, zwanych komorami hiperbarycznymi. Obecnie wykorzystywane są dwa rodzaje komór hiperbarycznych: jednoosobowe (*monoplace*), gdzie chory pobiera tlen bezpośrednio z atmosfery komory oraz komory wieloosobowe, w których w tym samym czasie terapii poddawanych jest kilka osób, którym tlen jest podawany za pomocą specjalnych masek lub hełmów [1-6].

Oddychanie czystym tlenem przy ciśnieniu atmosferycznym równym 1 ata powoduje 3-krotny wzrost rozpuszczalności tlenu w osoczu w porównaniu z oddychaniem powietrzem atmosferycznym. W HBO, gdzie czysty tlen aplikowany jest pod ciśnieniem 2-3-krotnie większym, rozpuszczalność tlenu w osoczu wzrasta nawet kilkunastokrotnie, co jest w stanie podtrzymać podstawowe czynności metaboliczne organizmu, zapewniając jego przeżycie w sytuacjach bardzo ciężkich, np. w ostrej niedokrwistości pokrwotocznej [1-4].

Obecnie tlenoterapia hiperbaryczna jest coraz częściej wykorzystywaną metodą leczniczą w wielu różnych schorzeniach, do których należą: zatory gazowe, choroba dekompresyjna, ostra krwotoczna niedokrwistość, zatrucie tlenkiem węgla, leczenie zgorzeli gazowej, ran oparzeniowych. Toczące się liczne badania eksperymentalne i kliniczne otwierają coraz to nowsze zastosowania tlenoterapii hiperbarycznej, m.in. do leczenia owrzodzeń tkanek miękkich, takie jak owrzodzenia troficzne podudzi, co jest prezentowane w niniejszej pracy.

Materiały i metody

Badania przeprowadzono w Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich w grupie liczącej 19 pacjentów (7 mężczyzn i 12 kobiet) w wieku 51 ± 15 lat oraz 6 zdrowych osób w wieku 42 ± 8 . Każdorazowo sesja tlenoterapii hiperbarycznej trwała 86 minut. Ciśnienie powietrza w komorze hiperbarycznej wynosiło 2,5 ata. Termogramy wybranych obszarów zainteresowania (ROI) zostały wykonane przed (a) i bezpośrednio po (b) zabiegu HBO w specjalnym pomieszczeniu na zewnątrz komory hiperbarycznej. Temperatura panująca w komorze oraz w pomieszczeniu pomiarowym była ustabilizowana i wynosiła $22,5 \pm 1$ °C.

Przed zabiegami, jak również przed wykonaniem termogramów, pacjenci mieli zdejmowane opatrunki z rany podlegającej badaniu, a następnie odsłoniętą ranę pozostawiono, w celu osiągnięcia termicznej równowagi z otoczeniem. Bandaż, który znajdował się na ranie, był mocowany luźno, by nie powodować ucisku tkanek. U każdego z pacjentów przygotowanie do badania termograficznego przebiegało w ten sam sposób.

Obrazowanie termiczne wykonano za pomocą kamery termowizyjnej A40 Flir Systems o czułości 0,07 K, kalibrowanej ciałem doskonale czarnym.

Analizę statystyczną wykonano za pomocą programu Statistica 7,1.

Wyniki i dyskusja

Rysunki 1-3 przedstawiają reprezentatywne termogramy dla grupy kontrolnej (rys. 1), grupy pacjentów, dla których zaobserwowano spadek temperatury obszarów zainteresowania (rys. 2) oraz pacjentów, dla których otrzymano wzrost średniej temperatury tkanek miękkich w okolicy owrzodzeń podudzi (rys. 3).

Porównując termogramy wykonane przed (a) i po (b) terapii tlenem hiperbarycznym na rys. 1-3, zaobserwowano, że temperatura powierzchni skóry na termogramach otrzymanych po terapii tlenem hiperbarycznym znacząco różni się od termogramów wykonanych przed wejściem do komory hiperbarycznej, zarówno dla zdrowych, jak i dla chorych. W przypadku zdrowych zawsze obserwowano niewielkie, ale statystycznie istotne obniżenie temperatury powierzchni ciała. W przypadku stanów patologicznych obserwowano dwa rodzaje odpowiedzi termicznej organizmu na hiperbarię tlenową. Dla przeważającej części pacjentów cierpiących na owrzodzenia troficzne podudzi po tlenoterapii hiperbarycznej otrzymano, iż średnia temperatura wybranego obszaru spada po zabiegu, podobnie jak u zdrowych osób, ale obniżenie temperatury było większe.

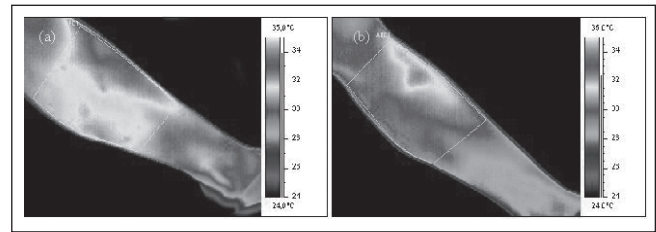
Obserwowano również efekt odwrotny – dla części pacjentów w obrębie całego obszaru rany bądź jej części zaobserwowano wzrost średniej temperatury powierzchni ciała związanej ze schorzeniem tkanek miękkich.

Prawdopodobnie zmiany temperatury skóry są związane z unaczynieniem, lokalnym przepływem krwi w naczyniach krwionośnych, głównie włosowatych oraz poziomem metabolizmu w szczególności w tkankach zlokalizowanych powierzchniowo, co może być analizowane za pomocą termowizji [7-9].

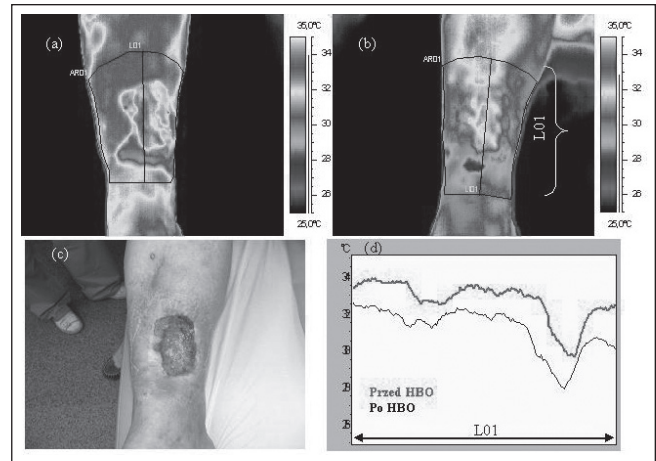
Zaobserwowane zmiany odpowiedzi termicznej obszarów zainteresowania związanych z owrzodzeniami troficznymi można próbować tłumaczyć tym, że tlenoterapia hiperbaryczna redukuje obrzęk poprzez ograniczenie przecieku z uszkodzonych naczyń krwionośnych, co znacznie ułatwia dopływ tlenu do zniszczonej tkanki i przyspiesza proces gojenia się. Ponadto HBO stymuluje także aktywność komórek odpowiedzialnych za tworzenie się nowych naczyń krwionośnych

Tabela 1 Wyniki t-testu dla średniej temperatury (T_{sr}) otrzymanej z obszarów zainteresowania dla grupy kontrolnej (grupa K), grupy pacjentów cierpiących na owrzodzenia troficzne podudzi, u których zaobserwowano obniżenie T_{sr} (grupa S) oraz grupy pacjentów, u których zaobserwowano wzrost T_{sr} wskutek tlenoterapii hiperbarycznej (grupa W)

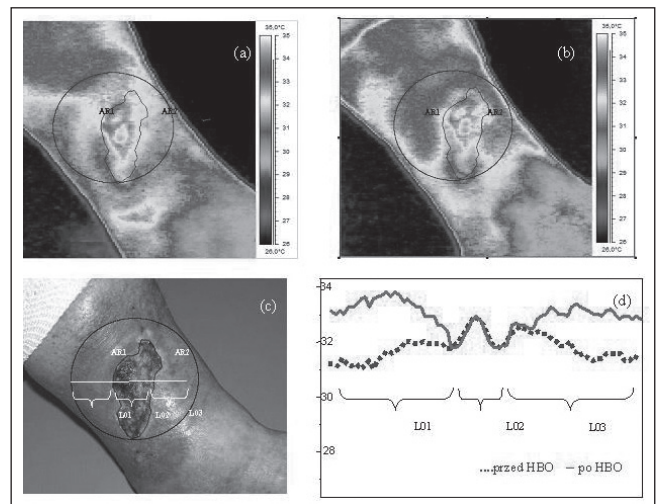
	Temperatura średnia [°C]	Odchylenie standardowe	T	P
ZDROWI – Grupa K				
Przed HBO	31,7	1,03		
Po HBO	30,7	0,7	1,03	0,001
Pacjenci – Grupa S				
Przed HBO	31,2	1,0		
Po HBO	29,3	1,6	1,9	0,001
Pacjenci – Grupa W				
Przed HBO	31,4	1,4		
Po HBO	31,9	1,2	-0,5	0,02



Rys. 1 Reprezentatywne termogramy podudzi z zaznaczonymi obszarami zainteresowania osoby zdrowej z grupy kontrolnej wykonane przed (a) i po (b) terapii tlenem hiperbarycznym

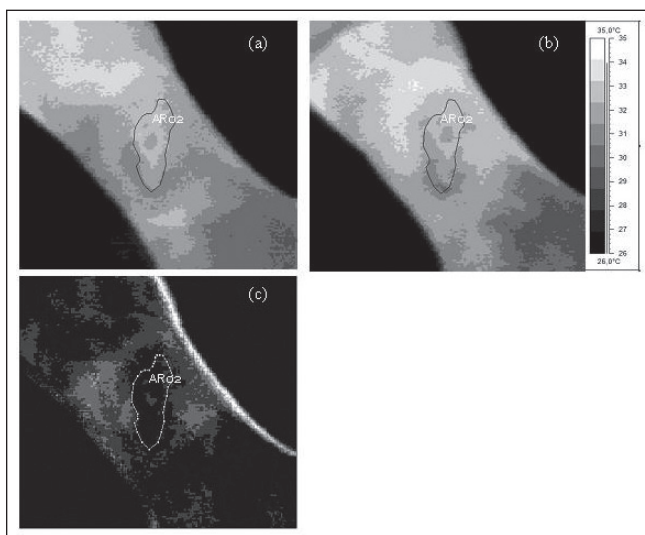


Rys. 2 Reprezentatywne termogramy podudzi wykonane przed (a) bezpośrednio po (b) HBO z zaznaczonymi obszarami zainteresowania oraz zdjęcie cyfrowe (c) oraz przebiegi temperaturowe wzdłuż zaznaczonej linii (d) u pacjenta cierpiącego na owrzodzenie troficzne podudzi z grupy, w której zaobserwowano spadek temperatury średniej wskutek terapii tlenem hiperbarycznym



Rys. 3 Reprezentatywne termogramy podudzi wykonane przed (a) bezpośrednio po (b) HBO z zaznaczonymi obszarami zainteresowania oraz zdjęcie cyfrowe (c) oraz przebiegi temperaturowe wzdłuż zaznaczonej linii (d) u pacjenta cierpiącego na owrzodzenie troficzne podudzi z grupy, w której zaobserwowano wzrost temperatury średniej wskutek terapii tlenem hiperbarycznym

w procesie neowaskularyzacji oraz zdrowej tkanki. Procesy te są związane z transportem krwi i redystrybucją płynów tkankowych, co może objawiać się zmianami temperatury tkanek wskutek poprawy termoregulacji. Wydaje się również, że zmiany temperatury obszaru dotkniętego owrzodzeniem, jak również obszarów wokół owrzodzenia mogą być związane



Rys. 4 Reprezentatywne termogramy podudzi pacjenta, dla którego zaobserwowano wzrost temperatury wokół owrzodzenia wykonane przed (a) bezpośrednio po (b) hiperbarycznej terapii tlenowej oraz obraz różnicowy (c) z zaznaczonym obszarem martwiczym związanym z owrzodzeniem

z poprawą mikrokrążenia i zmianami metabolizmu w obrębie zmiany, co może sugerować początek procesu gojenia [1-3].

Przeprowadzono również analizę statystyczną otrzymanych danych termograficznych. Badania statystyczne przeprowadzone w grupie pacjentów z owrzodzeniami troficznymi podudzi, pokazały istotny spadek temperatury ($\Delta T=1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) dla 60% przebadanych pacjentów, podobnie jak u osób zdrowych, przy czym dla w tym przypadku spadek temperatury był mniejszy i wyniósł średnio $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($p=0,001$). Z drugiej jednak strony, u 40% pacjentów zaobserwowano wzrost średniej temperatury badanego obszaru ($\Delta T=0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Wyniki analizy statystycznej w grupie pacjentów cierpiących na owrzodzenia troficzne podudzi zamieszczono tabeli 1.

Ponadto celem lepszego zobrazowania zmian temperaturowych powierzchni ciała zmienionej chorobowo powodowanych hiperbaryczną terapią tlenową, sporządzono różnicową mapę termiczną (rys. 4c) przez odjęcie termogramów wykonanych przed (rys. 4a) i po (rys. 4b) tlenoterapii hiperbarycznej.

Z rysunku 4c wyraźnie widać podwyższenie temperatury głównie na obrzeżach owrzodzenia, co może być związane ze wzrostem procesów metabolicznych. Właśnie w tych obszarach często występuje obrzęk tamujący dopływ krwi do uszkodzonych tkanek i w tych obszarach powinny zachodzić procesy odtwórcze polegające na odbudowie zniszczonych naczyń krwionośnych, jak również procesy polegające na odbudowie tkanki i procesach naskórkowania. Otrzymane w wyniku odejmowania obrazów mapy temperaturowe (rys. 4c) są zbieżne z termogramami i wykresami prezentowanymi na rys. 3.

Podsumowanie

Wykonane badania pokazały, iż obrazowanie termograficzne może być przydatne w badaniu skutków tlenoterapii hiperbarycznej.

U osób zdrowych obserwowano nieznaczny spadek temperatury badanej powierzchni po zabiegu w komorze hiperbarycznej. W przypadku osób cierpiących na owrzodzenia troficzne podudzi obserwowano zróżnicowaną odpowiedź termiczną powierzchni ciała zmienionej chorobowo. U większości (60%) osób ze schorzeniami podudzi spadek temperatury był 2-krotnie większy niż u osób zdrowych. Jednakże u reszty chorych obserwowano wzrost temperatury powierzchni ciała zmienionej chorobowo. Ta zróżnicowana odpowiedź

prawdopodobnie związana jest ze stanami zapalnymi i wzmożonym metabolizmem, jak również gojeniem się ran, budową nowych naczyń krwionośnych oraz nowej, zdrowej tkanki. ■

Literatura

1. A. Sieroń, G. Cieślak: *Zarys medycyny hiperbarycznej*, α -medica press, Bielsko-Biała 2006.
2. R.A. Neubauer M. Walker: *Hyperbaric Oxygen Therapy*, Avery, New York 1998.
3. N.A. Buckley, G.K. Isbister, B. Stokes, D. N. Juurlink: *Hyperbaric oxygen for carbon monoxide poisoning: a systematic review and critical analysis of the evidence*, Toxicological Reviews, vol. 24(2), 2005, s. 75-92.
4. M. Kawecki, A. Sieroń, J. Glik, M. Nowak, B. Szymańska, G. Knefel: *The role of hyperbaric oxygen therapy (HBO) in surgical treatment of trophic ulcerations, caused by persistent venous insufficiency*, vol. 3, Balneologia Polska, 2006, s. 150-155.
5. B. Szymańska, M. Kawecki, G. Knefel: *Kliniczne aspekty hiperbarii tlenowej*, Wiadomości Lekarskie, vol. 59, 2006, s. 1-2.
6. R.E. Grolman, D.K. Wilkerson, J. Taylor, P. Allinson, M. Zatina: *Transcutaneous oxygen measurement predict a beneficial response to hyperbaric oxygen therapy in patients with nonhealing wounds and critical limb ischaemia*, The American Surgeon vol. 67(11), 2001, s. 1072-1079.
7. E.F.J. Ring, K. Ammer: *The technique of infrared imaging in medicine*, Thermology International, vol. 10(1), 2000, s. 7-14.
8. A. Cholewka, Z. Drzazga, G. Knefel, A. Ciba, M. Kawecki, M. Nowak: *Thermal imaging in hyperbaric oxygen therapy (HBO) – preliminary report*, SYMBIOSIS 2008, s. 10-12.
9. A. Cholewka, Z. Drzazga, A. Sieroń: *Monitoring of whole body cryotherapy effects by thermal imaging – preliminary report*, Physica Medica, vol. 22 (2), 2006, s. 57-62.

otrzymano / received: 17.03.2010 r.
zaakceptowano / accepted: 30.04.2010 r.