

Aktualny stan medycyny hiperbarycznej w Polsce

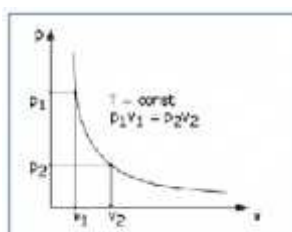
Urszula Łatka¹, Włodzisław Kuliński², Grzegorz Knefel³, Aleksander Sieroń⁴

¹Z NSZOZ Multimed w Bieruniu

²Z Kliniki Rehabilitacji z Zakładem Medycyny Fizykalnej Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie

³Z Pracowni Hiperbarii Tlenowej Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich

⁴Z Katedry i Kliniki Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Bytomiu



Wykres - prawo Boyle'a-Mariotta, zwane prawem izotermy



Komory jednoosobowe ETC „Bara-Med”, USA



Komora wieloosobowa HAUX Starmed 2500, Niemcy



Oksymetr przezskórny Radiometer Copenhagen TINA TCM4, Dania

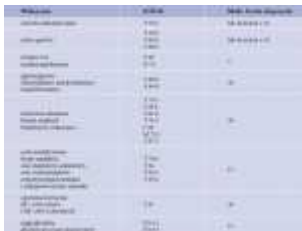
- 

Tabela I. Świadczenia zakontraktowane z NFZ. Wskazania ostre

- 

Tabela 2. Świadczenia zakontraktowane z NFZ. Wskazania przewlekłe



Fot. 1. Stan miejscowy pacjentki przy przyjęciu do CLO



Fot. 2. Ogólny stan pacjentki przy przyjęciu do CLO



Fot. 3. Pacjentka podczas kontroli w ambulatorium 2,5 miesiąca po zakończeniu leczenia szpitalnego



Fot. 4. Stan przy przyjęciu do CLO



Fot. 5. Po 6 zabiegach w komorze hiperbarycznej



Fot. 6. Po 11 zabiegach w komorze hiperbarycznej i dwukrotnych zabiegach operacyjnych (wspg)

W pracy przedstawiono aktualny stan hiperbarii tlenowej w Polsce; podstawowe informacje o działaniach tlenoterapii hiperbarycznej na organizm ludzki, wskazania, przeciwwskazania, objawy uboczne, powikłania HBO. Przedstawiono też dostępność HBO w Polsce.

Tlen został odkryty w 1774 r. przez J. Priestleya. W 1775 r. pierwiastek ten został nazwany oxygenium. Nazwę nadał mu A. Lavoisier zajmujący się badaniem składników powietrza.

Tlen jest najczęściej występującym pierwiastkiem w skorupie ziemskiej, głównie w warstwie litosfery. Spotykany jest w składzie wielu minerałów tworzących skały. Jest również ważnym składnikiem hydrosfery, gdzie w połączeniu z wodorem tworzy wodę (89% masowych), a w stanie wolnym występuje w atmosferze (23% masowych, 21% objętościowych). Tlen jest bardzo ważnym makroelementem w ludzkim organizmie, wchodzi w skład wody, węglowodanów, białek, tłuszczów, kwasów nukleinowych. Bierze też udział w licznych procesach metabolicznych.

Ciśnienie parcjalne tlenu w powietrzu atmosferycznym wynosi około 21% ciśnienia atmosferycznego.

W drogach oddechowych ciśnienie tlenu spada. Najniższe jest w dolnych drogach oddechowych, szczególnie w pęcherzykach płucnych. W czasie wymiany gazowej w płucach w powietrzu wydychanym znajduje się tylko około 17% tlenu i 4% dwutlenku węgla (4). Tlen cechuje się jednak słabą rozpuszczalnością w wodzie. Fizycznie rozpuszczony w osoczu stanowi jedynie 2-3% ilości transportowanej przez krew (ok. 0,6 ml O₂/100 ml osocza). Wykształcenie barwników oddechowych – białek w nietrwały sposób wiążących tlen, powoduje zwiększenie stopnia wysycenia krwi tlenem, co w efekcie sprawia, że w organizmie ludzkim utlenowana krew wracająca z płuc może zawierać nawet do 20% objętościowych O₂.

Dyfuzja gazów pomiędzy powietrzem w pęcherzykach płucnych a krwią, jak również pomiędzy krwią a komórkami organizmu, odbywa się zgodnie z gradientem stężeń. Krew dopływająca do komórek zawiera dużą ilość tlenu o ciśnieniu około 96 mmHg i niewielką ilość dwutlenku węgla o ciśnieniu około 40 mmHg. W następstwie procesów metabolicznych, odbywających się w tkankach, ciśnienie tlenu w komórce spada do około 30 mmHg, a ciśnienie dwutlenku węgla wzrasta, osiągając stężenie około do 46 mmHg. W związku z tym wyższe o ponad 60 mmHg ciśnienie tlenu w napływającej naczyniami tętniczymi krwi umożliwia wprowadzenie tego pierwiastka do komórek, z jednoczesnym odprowadzeniem dwutlenku węgla (4). Transport tlenu odbywa się przede wszystkim w formie połączenia tlenu z hemoglobina. W taki sposób przenoszone jest około 98-99% tlenu zawartego we krwi. Przyjmując, że wszystkie miejsca wiążące tlen w hemoglobinie są wysycane tym pierwiastkiem i uwzględniając średnią wartość stężenia hemoglobiny we krwi można przyjąć, że w 1 litrze krwi może być transportowane około 200 ml tlenu, zaś frakcja tlenu rozpuszczona w osoczu stanowi jedynie około 3 ml tlenu w 1 litrze krwi, co stanowi 1-2% całkowitej ilości tlenu transportowanego przez krew (4).

Wskazanie do leczenia hiperbarią tlenową opiera się na prawie Henry'ego, opisującym zależność ilości (objętości) v gazu rozpuszczonego w jednostce masy lub objętości cieczy od ciśnienia tego gazu p

$$V = Kh(T)p$$

gdzie $Kh(T)$ jest stałą Henry'ego zależną od układu gaz-ciecz i temperatury (5).

Jak podano wcześniej, w 1 litrze osocza rozpuszczone jest w warunkach normalnych około 3 ml tlenu. Oddychanie 100% tlenem w warunkach normobarycznych powoduje zwiększenie ilości tlenu rozpuszczonego w osoczu do około 20 ml w 1 litrze krwi. Oddychanie 100% tlenem w warunkach hiperbarycznych 2.0-2.5 ATA zwiększa ilość tlenu rozpuszczonego w osoczu do około 50 ml w 1 litrze krwi. (2,16) Doświadczenia Boeremy i wsp., opublikowane w 1960 r. wskazują, że człowiekowi pozostającemu w spoczynku taka ilość tlenu jest wystarczająca dla podstawowych potrzeb organizmu.

Spośród innych praw fizycznych w teorii leczenia hiperbarycznego znalazły zastosowanie:

- **prawo Boyle'a-Mariotta, zwane prawem izotermy:** odnosi się ono do przemian izotermicznych ($T = \text{const}$). Prawo to podaje zależność między objętością a ciśnieniem danej masy gazu w stałej temperaturze. Wyraża się równaniem

$$v \cdot p = \text{const}$$
$$v_1 \cdot p_1 = v_2 \cdot p_2$$

Stała wartość iloczynu ciśnienia i objętości danej masy gazu przy stałej temperaturze oznacza, że objętość gazu idealnego jest odwrotnie proporcjonalna do jego ciśnienia.

- **prawo Charlesa:** przy stałej objętości gazu idealnego ciśnienie jest wprost proporcjonalne do jego temperatury absolutnej.

Ciśnienie gazu p w stałej objętości zwiększa się o stały ułamek ciśnienia tego gazu zmierzonego w temperaturze 0°C przy wzroście temperatury o 1°C :

$$p = p_0(1 + t/273)$$

gdzie:

p – ciśnienie gazu

p_0 – ciśnienie gazu w temperaturze 0°C

T – temperatura bezwzględna

$t [^\circ \text{C}] = T [\text{K}] - 273,15$ – temperatura w skali Celsjusza

- **prawo Daltona:** ciśnienie wywierane przez mieszaninę gazów jest równe sumie ciśnień wywieranych przez składniki mieszaniny, gdyby każdy z nich był umieszczony osobno w tych samych warunkach objętości i temperatury, jest ono zatem sumą ciśnień cząstkowych (5).

Pomimo, że tlen został odkryty już w 1774 r., zastosowanie tlenu w terapii zostało zapoczątkowane dużo później. W 1789 r. Lavoisier i Saguin ogłosili pracę o toksyczności tlenu. W związku z tym odkryciem nie stosowano sprężonej formy tlenu w leczeniu przez następne kilkadziesiąt lat.

Pierwszą osobą, stosującą sprężone powietrze do leczenia chorób płuc był dr Henshaw, który

w tym celu w 1622 r. zbudował urządzenie zwane „domicilium”. Bardzo dużo komór hiperbarycznych powstało w wielu krajach Europy w XIX wieku. W 1855 r. powstał pierwszy podręcznik medycyny hiperbarycznej „Le Bain d’ Air Comprime” Eugene Bertine’a. Podobnie jak w Europie, leczenie w komorze hiperbarycznej cieszyło się dużą popularnością w Stanach Zjednoczonych. Najbardziej znanym lekarzem tego okresu jest dr Cunningham, który w 1920 r. zbudował komorę do leczenia chorych na gripę w okresie pandemii hiszpanki. Trzy lata później doszło do tragicznej w skutkach awarii technicznej urządzenia – w pożarze komory zginęli wszyscy znajdujący się wewnątrz pacjenci. Pomimo to dr Cunningham nadal prowadził próby leczenia różnorodnych stanów chorobowych, jak cukrzyca, nadciśnienie tętnicze, nowotwory tlenoterapią hiperbaryczną. Zbudował powtórnie ogromną komorę, mieszczącą wewnątrz pięć kondygnacji. Na skutek jego nieporozumień z Amerykańskim Towarzystwem Medycznym, które nie mogło uzyskać od Cunninghama informacji o stosowanym przez niego postępowaniu medycznym i uzyskanych wynikach leczenia, doszło w 1936 r. do zamknięcia komory (2, 16).

„Ojcem” nowoczesnej medycyny hiperbarycznej nazywany jest holenderski kardiochirurg Ide Boerema. W 1959 r. przeprowadził doświadczenie polegające na tym, że układ krwionośny świni pozbawiono elementów komórkowych, w zamian umieszczając zwierzę w komorze hiperbarycznej, w której oddychało przez 45 minut 100% tlenem przy ciśnieniu 3 ATA. Udowodnił w ten sposób, że tlen, w warunkach hiperbarii tlenowej rozpuszczony w osoczu, wystarcza do podtrzymania procesów życiowych (2, 16). Dr Boerema jako pierwszy przeprowadził w komorze hiperbarycznej operację wrodzonej wady serca. W 1961 r. razem z Brummelkampem zastosował tlen hiperbaryczny w leczeniu infekcji wywołanej beztlenowcami (3).

Pierwszy Międzynarodowy Kongres Medycyny Hiperbarycznej odbył się w Amsterdamie, w 1963 r.

W 1976 r. powstał w Stanach Zjednoczonych Committee on Hyperbaric Oxygenation of the Undersea Medical Society przemianowany w 1986 r. na Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS). Europejskie narodowe towarzystwa medycyny hiperbarycznej skupia założony w 1989 r. European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM) oraz European Underwater and Baromedical Society (EUBS) (2,16) W Polsce funkcję koordynującą pełni Krajowy Ośrodek Medycyny Hiperbarycznej w Gdyni.

TERAPIA TLENEM HIPERBARYCZNYM (Hyperbaric Oxygen Therapy)

Hiperbaria tlenowa (hyperbaric oxygenation – HBO) jest metodą leczenia polegającą na oddychaniu 100% tlenem pod ciśnieniem wyższym od lokalnego ciśnienia atmosferycznego w odpowiednio skonstruowanej komorze ciśnieniowej (zgodnie z definicją podaną przez Europejski Kodeks Dobrej Praktyki w Terapii Tlenem Hiperbarycznym). Ciśnienie wywierane na pacjenta w czasie terapii hiperbarycznej jest sumą ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia panującego w komorze. Ciśnienie to wyraża się w atmosferach absolutnych (ATA). Atmosfera absolutna jest to suma ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza i ciśnienia w komorze (tzw. ciśnienie na zaworach) (1, 6). Obecnie uważa się, że ciśnienie niezbędne do leczenia powinno wynosić co najmniej 1.4 ATA (2, 16). Najczęściej stosowane jest ciśnienie o wartości 1.5- 3.0 ATA (26).

W materiałach informacyjnych, opracowanych przez Pracownię Hiperbarii Tlenowej Centrum Leczenia Oparzeń w Siemianowicach Śląskich zamieszczone są dane dotyczące rodzaju i

wyposażenia stosowanych komór hiperbarycznych. Do leczenia stosuje się komory jednomiejscowe, przeznaczone dla jednego pacjenta (monoplace chambers) lub wielomiejscowe (multiplace chambers), mogące pomieścić nawet kilkanaście osób. Komory pierwszego rodzaju mają najczęściej kształt akrylowego cylindra, zamkniętego z boków stalowymi pokrywami. Pacjent znajduje się w komorze w pozycji leżącej. Cała objętość komory wypełniona jest tlenem. Nie są potrzebne w takim przypadku maski lub kaptury do oddychania. Pacjent może się porozumiewać z personelem medycznym przez interkom. Nie ma możliwości bezpośredniego dostępu do chorego w czasie leczenia. Wewnątrz komory nie instaluje się urządzeń elektrycznych ze względu na ryzyko pożaru. Możliwe jest jednak doprowadzenie sygnału radiowego, a przezroczysta konstrukcja pozwala pacjentowi na oglądanie audycji telewizyjnych.

Wielkość komory typu multiplace pozwala na swobodne wejście do środka i poruszanie się w nim. W komorach wielomiejscowych każdy pacjent ma własne stanowisko poboru tlenu, podawanego przez maskę lub specjalny hełm. Pacjentom towarzyszy w czasie sesji hiperbarycznej asystent medyczny, pomocny w razie potrzeby. Główny przedział komory wypełniony jest powietrzem. Możliwe jest zainstalowanie wewnątrz samej komory urządzeń elektrycznych, takich jak respiratory, pompy infuzyjne, systemy monitorujące. Komory takie pozwalają również na przebywanie w środku osoby personelu medycznego, co umożliwia szybką interwencję medyczną w razie potrzeby, a także bezpośrednio wykonywanie zabiegów medycznych. Chorzy nieprzytomni, np. zatruci tlenkiem węgla, mogą być podłączeni do systemu monitorowania, respiratora i pomp infuzyjnych. Ponadto większa przestrzeń, obecność innych osób, zwłaszcza wykwalifikowanego pracownika medycznego, zmniejsza lęk, jaki odczuwają niektórzy pacjenci przed zamknięciem w ciasnym pomieszczeniu. Na zewnątrz komory znajduje się panel kontrolny, zaopatrzony w system zabezpieczeń zapobiegający zmianom środowiska w komorze (3, 6, 8, 26).

Szczegółowe definicje i zalecenia, dotyczące personelu, sprzętu, stosowanych procedur standardowych i awaryjnych, dokumentacji i istniejących zagrożeń określa Europejski Kodeks Dobrej Praktyki w Terapii Tlenem Hiperbarycznym opracowany w 2004 r. przez Grupę Roboczą „Safety” Projektu COST B 14 „Terapia Tlenem Hiperbarycznym” na bazie doświadczeń ekspertów z ośrodków hiperbarycznych, komisji i towarzystw naukowych.

Zgodnie z intencją jego autorów, docelowo, dokument ten powinien być odniesieniem dla wytycznych, regulacji i standardów w medycynie hiperbarycznej na terenie Europy.

Istota terapii tlenem hiperbarycznym:

- zwiększa dopływ tlenu do uszkodzonego obszaru,
- poprawia ukrwienie w obszarze uszkodzonym poprzez zwężenie naczyń centralnych, a zwiększenie przepływu przez tkanki uszkodzone (tzw. efekt Robin Hooda),
- zmniejsza obrzęk uszkodzonych tkanek,
- hamuje namnażanie się bakterii i zwiększa skuteczność antybiotykoterapii,
- aktywuje neoangiogenezę,

- powoduje proliferację fibroblastów i zwiększenie produkcji kolagenu,
- powoduje wzrost zależnej od granulocytów obojętnochłonnych aktywności przeciwbakteryjnej,
- zwiększa aktywność osteoblastów i osteoklastów,
- zmniejsza okres półtrwania karboksyhemoglobiny,
- powoduje zmniejszenie objętości pęcherzyków gazu we krwi.

Przed rozpoczęciem leczenia oraz po określonej ilości wykonanych zabiegów w komorze hiperbarycznej u pacjentów wykonuje się oksymetrię przezskórną, obecnie powszechnie wykonywaną, nieinwazyjną metodę kontroli stężenia tlenu w tkankach. Metoda ta polega na przytwierdzeniu do skóry elektrody. Rozgrzana do 37-43°C elektroda powoduje przegrzanie skóry i poprzez poszerzenie naczyń krwionośnych zwiększenie przepływu krwi w tym obszarze i dyfuzję tlenu pod elektrodą (29).

Stężenie tlenu w tym miejscu odpowiada jego stężeniu w naczyniach tętniczych w tkankach.

Metoda ta pozwala ocenić poziom stężenia tlenu w tkankach przed rozpoczęciem i w trakcie leczenia.

Za prawidłowe wartości przyjmuje się stężenie tlenu w tkankach 40-60 mmHg. W tkankach niedotlenionych i ranach wartości te zwykle nie przekraczają 30 mmHg. Dzięki terapii tlenem hiperbarycznym (2.0-2.8 ATA) można uzyskać znaczne zwiększenie stężenia tlenu: w tkankach zdrowych nawet 1000 mmHg, a w ranach i obszarach niedotlenionych 250 mmHg. Brak wzrostu stężenia tlenu powyżej 10 mmHg przy ekspozycji 100% tlenu i 1 ATA oznacza skrajne niedokrwienie tkanek, co wiąże się zazwyczaj z brakiem odpowiedzi na terapię hiperbaryczną (6).

Wskazania do stosowania HBO ustalono na konferencji ECHM w Lille w 2004 r. Podzielono je na grupę wskazań rekomendowanych do użycia tlenu hiperbarycznego ze względu na oczekiwaną znaczną korzyść terapeutyczną oraz grupę wskazań opcjonalnych.

Do grupy pierwszej należą:

- choroba dekompresyjna,
- zatory gazowe,
- zatrucie tlenkiem węgla,
- martwicze infekcje tkanek miękkich,
- ropnie wewnątrzczaszkowe,
- zespół zmiążdżenia i inne ostre niedokrwienia pourazowe,
- przeszczepy i płaty skórne zagrożone martwicą,

- trudno gojące się rany,
- uszkodzenia poradiacyjne tkanek,
- przewlekłe zapalenie kości i szpiku,
- nagła głuchota,
- neuroblastoma.

Do wskazań opcjonalnych należą:

- oparzenia,
- encefalopatia atoksyczna,
- infekcja beztlenowcowa płuc i opłucnej,
- zespoły reperfuzyjne po zabiegach naczyniowych i replantacji kończyn,
- pneumatosis cystoides intestinalis (6, 7).

Stosowane są także próby leczenia grzybicy, przeciążeniowych uszkodzeń narządu ruchu u sportowców, złamań, przeszczepów kostnych, choroby niedokrwiennej serca i świeżego zawału serca, zatruc cjanami i siarkowodorem, udaru mózgu, obrzęku mózgu, stwardnienia rozsianego, urazów i schorzeń naczyniowych rdzenia kręgowego, przełomu sierpowato-krwinkowego, zatoru tętnicy lub żyły siatkówki, retinopatii cukrzycowej, neuropatii nerwu wzrokowego, martwiczego zapalenia jelit, niedrożności porażennej jelit, colitis ulcerosa, choroby Leśniowskiego-Crohna, zapalenia błędnika, migreny, choroby Meniere'a, szumów usznych, chorób skóry (6, 7).

Hiperbaryczną terapię tlenową stosuje się u pacjentów z niedokrwionymi i niedotlenionymi tkankami i/lub ranami jako leczenie wspomagające typowe postępowanie terapeutyczne. Istota zastosowania terapii hiperbarycznej polega na zwiększeniu dostarczenia tlenu do uszkodzonych tkanek. Można to osiągnąć umieszczając chorego w atmosferze czystego tlenu w komorze hiperbarycznej typu monplace chaber lub przez podawanie tlenu przez maskę w komorze wielomiejscowej. Dąży się w ten sposób do uzyskania zwiększonego ciśnienia tlenu w płucach, tym samym większego rozpuszczania w osoczu i dostarczenia w większej ilości uszkodzonym tkankom. Wysokie stężenie tlenu w osoczu przyczynia się do zwiększenia promienia dyfuzji tlenu z naczyń włosowatych do otaczających je niedotlenionych tkanek (6, 7). Wyjaśnia to tzw. model cylindra tlenowego Krogha. Krogh stwierdził, że zasięg dyfuzji tlenu jest wprost proporcjonalny do jego ciśnienia na całej długości naczynia. Matematyczny model Krogha-Erlanga pozwala na wyliczenie, jak zmieni się dyfuzja tlenu do tkanek po stronie tętniczej i żylniej w zależności od wartości ciśnienia i zawartości tlenu przy oddychaniu. Jak podają A.Sieroń, G.Knefel przy oddychaniu powietrzem na poziomie morza tętnicze PO₂ wynosi około 100 mmHg, zaś przy ciśnieniu 3 ATA i 100% tlenie PO₂ wynosi często około 2000 mmHg, co zwiększa dyfuzję tlenu do tkanek czterokrotnie po stronie tętniczej, a dwukrotnie po stronie żylniej krążenia włosiczkowego (6, 7).

Zespół zmiążdżenia, niedokrwienne zespoły pourazowe są stanami, w których z powodu

gwałtownie narastającego niedokrwienia i obrzęku tkanek, zagrożenia martwicą, terapia tlenem hiperbarycznym powinna być zastosowana tak szybko, jak to jest możliwe, łącznie z wymaganym w danym przypadku postępowaniem chirurgicznym. HBO poprawia natlenienie tkanek, zmniejsza obrzęk, działa przeciwbakteryjnie i może mieć znaczenie dla ograniczenia zakresu amputacji w razie ewentualnej konieczności takiego postępowania (3, 26, 28).

W przypadku leczenia trudno gojących się ran i owrzodzeń w tkankach otaczających ranę dochodzi do hipoksji. Spowodowana jest upośledzeniem mikrokrążenia i wynikającym z tego niedostatecznym zaopatrzeniem w tlen, dodatkowo zużywanym głównie na obwodzie rany z wytworzeniem bardzo niekorzystnego gradientu stężenia pomiędzy obwodem a centrum rany, gdzie prężność tlenu może spadać do zera. Zastosowanie tlenu hiperbarycznego powoduje przyspieszenie produkcji i odkładania kolagenu, pobudzenie angiogenezy, wzrost aktywności przeciwbakteryjnej leukocytów, ograniczenie uszkodzeń śródbłonna poprzez zmniejszenie zdolności neutrofilów do adhezji na ścianach naczyń, zwężenie naczyń w obszarach prawidłowo zaopatrzonych w tlen bez zmian w krążeniu w obszarach o upośledzonym przepływie. Dostarczenie tlenu do uszkodzonych i niedokrwionych tkanek przyspiesza gojenie. Czasem udaje się uzyskać całkowite wygojenie, w innych przypadkach tlenoterapia hiperbaryczna jest dobrym przygotowaniem pacjenta do wolnego przeszczepu skóry pośredniej grubości (6, 11, 12, 26).

Hiperbaryczna terapia tlenowa jest również znaczącym uzupełnieniem chirurgicznego leczenia stopy cukrzycowej. Przyczyny rozwinięcia się zespołu stopy cukrzycowej są złożone. Największe zmiany powoduje pogorszenie ukrwienia stopy. Zaburzenia ukrwienia spowodowane są zmniejszeniem elastyczności, rozwojem zmian miażdżycowych w naczyniach tętniczych o różnej średnicy, głównie tych o najmniejszym przekroju. Dołączają się zaburzenia reologiczne krwi – wzrasta lepkość i skłonność do wykrzepiania wewnątrznaczyniowego. Zmiany w zakresie nerwów obwodowych stopy są przyczyną upośledzenia odczuwania przez chorego bólu i zmian temperatury co powoduje, że zazwyczaj dość późno zauważa on troficzne zmiany stopy. Najczęściej pierwszym objawem jest czarnobłękitne zabarwienie opuszki palucha – to okres przedzgorzelinowy. Zgorzel może być sucha lub wilgotna. Szerzy się wzdłuż przestrzeni tkankowych i pochewek ścięgnistych. Dochodzi do postępujących zmian martwiczych w tkankach stopy.

Poza przewlekłym niedokrwieniem i niedotlenieniem do rozwoju stopy cukrzycowej przyczynia się ograniczone wytwarzanie tkankowego tlenu azotu. Z tego powodu pojawiają się zaburzenia skurczu i rozkurczu naczyń, osłabienie procesów naprawczych: zahamowanie ziarninowania w ranie, osłabienie włókien kolagenowych i zahamowanie syntezy kolagenu, zahamowanie migracji leukocytów, spadek angiogenezy, upośledzenie trombolizy mikrozakrzepów. Rozwija się flora bakteryjna beztlenowa i mikrotlenowa. Powstają trudno gojące się owrzodzenia, zgorzel tkanek miękkich, zapalenie kości stopy (9, 10).

Leczenie zespołu stopy cukrzycowej jest wielokierunkowe. Bardzo istotna jest prawidłowa terapia internistyczna oraz chirurgiczne opracowanie rany. Metodą uzupełniającą to leczenie jest hiperbaryczna terapia tlenowa. Celem jest ograniczenie infekcji, bezpośrednie działanie toksyczne na beztlenowce, poprawa gojenia się rany. Jak wykazują badania, zastosowanie HBO w leczeniu skojarzonym stopy cukrzycowej doprowadziło u części chorych do całkowitego zagojenia się ran lub do znacznej poprawy stanu miejscowego, co zapobiegło amputacjom lub pozwoliło na ograniczenie zakresu amputacji (9, 11, 12, 23, 24, 25).

Przy oparzeniach tkanek miękkich dochodzi do gwałtownego spadku ich ukrwienia. Na

skutek uszkodzenia ścian naczyń powstają obrzęki, obejmujące głębokie warstwy skóry i mięśni, co nasila uszkodzenia wywołane przez uraz. HBO umożliwia przenikanie tlenu z kapilarów do miejsca uszkodzenia pomimo przeszkód, jakie stanowi obrzęk i hipoperfuzja. Poprzez wzrost stężenia tlenu w okolicach rany oparzeniowej uzyskuje się ograniczenie obrzęku, zmniejszenie utraty płynu przez uszkodzone naczynia, poprawę funkcji krążenia. Zmniejsza się zagrożenie infekcją. Dla uzyskania jak najlepszych efektów terapia HBO powinna być włączona jak najwcześniej po urazie.

Tlenoterapia hiperbaryczna ma także pozytywny wpływ na gojenie się późniejszych przeszczepów skórnych (3, 26, 28).

Przy leczeniu oparzeń dróg oddechowych stosuje się HBO w celu zmniejszenia obrzęku błony śluzowej oskrzeli, co poprawia warunki wymiany gazowej w płucach, zmniejsza zastój żylny wokół rany oparzeniowej, tym samym wpływając na poprawę ukrwienia uszkodzonego obszaru. Istotne jest też działanie bakteriobójcze HBO, zapobiegające w tym przypadku głębokiej infekcji dróg oddechowych, będące niejako profilaktyką przeciwko wystąpieniu ARDS (14).

Zatrucie tlenkiem węgla może powodować wiele niepomyślnych skutków, łącznie ze śmiercią. Możliwe są również powikłania odległe, w postaci przewlekłych zmian w OUN rozwijające się nawet 6 miesięcy po zatruciu. Toksyczny efekt CO powstaje na skutek łączenia się z hemoproteinami i blokowaniu ich funkcji. Tlenek węgla ma około 250 razy większe powinowactwo do hemoglobiny niż tlen. Przyłączony do hemoglobiny powoduje szybki spadek zawartości tlenu we krwi tętniczej. Tlenek węgla ma też wpływ na inne fragmenty hemu – przyłączony do mioglobiny, doprowadza do powstania nieaktywnej postaci CO-mioglobiny i powoduje spadek zużycia tlenu w mięśniach i do spadku rzutu mięśnia sercowego. Ponadto tlenek węgla ma działanie neurotoksyczne; w późniejszym okresie po zatruciu może dojść do degeneracji komórek nerwowych, szczególnie w obszarze hipokampa.

Zastosowanie terapii tlenem hiperbarycznym w zatruciu tlenkiem węgla powoduje znaczne skrócenie okresu półtrwania HbCO. Przy oddychaniu powietrzem czas półtrwania hemoglobiny tlenkowęgłowej wynosi 320-360 minut, przy oddychaniu 100% O₂ i ciśnieniu 3 ATA – 20 minut. Przyspiesza też dezaktywację tlenku węgla. Ponadto, wcześniej zastosowana hiperbaria tlenowa pozwala uniknąć powikłań późnych, takich jak afazje, zaburzenia pamięci, zaburzenia równowagi i koordynacji mięśniowej (26, 27, 28).

HBO ma także duże znaczenie jako leczenie pomocnicze przy infekcjach tkanek miękkich, wywołanych przez beztlenowce i florę bakteryjną mieszaną, jak zgorzel gazowa i zespół Fourniera. Oprócz celowanej antybiotykoterapii, jak w każdym przypadku infekcji, konieczne jest zaopatrzenie chirurgiczne – usuwanie martwiczych fragmentów tkanki. Tlenoterapia hiperbaryczna hamuje namnażanie się bakterii, blokuje produkcję α -toksyny przez szczepy Clostridium, pozwala na oczyszczenie rany, przygotowując do wykonania przeszczepu lub pozwala zmniejszyć zakres amputacji kończyny (11, 12, 26, 28).

Tlen hiperbaryczny może znacznie zredukować lub nawet całkowicie zlikwidować ubytki słuchu, powstające w zespole nagłej utraty słuchu (SSNHL – sudden sensorineural hearing loss) – schorzenia niedokładnie jeszcze poznanego, w którym nagle z nieznannej przyczyny dochodzi do zaburzeń ukrwienia, obrzęku i uszkodzenia komórek ucha wewnętrznego. Zastosowanie HBO pozwala na zwiększenie stężenia tlenu w perylimfie, który dociera tam rozpuszczony fizycznie w osoczu i przenika przez błonę okienka owalnego. Efekty

zastosowania tlenowej terapii hiperbarycznej są tym lepsze, im wcześniej zostanie wdrożona (16, 26).

Terapia tlenem hiperbarycznym znajduje również zastosowanie w leczeniu popromiennych uszkodzeń kości i tkanek miękkich w przebiegu terapii chorób nowotworowych. Radioterapia uszkadza mikrokrażenie w obszarze napromieniowania, prowadząc do przewlekłego niedokrwienia, zakażeń i czasem trudno gojących się owrzodzeń. Niejednokrotnie długo po zakończeniu leczenia utrzymują się dolegliwości bólowe, ogniska infekcji, ograniczenie ruchomości uszkodzonego obszaru. HBO poprawia procesy naprawcze, przyspiesza neowaskularyzację, pomaga zwalczyć zakażenie (3, 26, 28).

W przypadku opornego na leczenie zapalenia kości, rozwijającego się wzdłuż zastosowanych po urazie stabilizatorów, terapia tlenem hiperbarycznym powinna być włączona jednocześnie z leczeniem farmakologicznym i chirurgicznym. Poza działaniem przyspieszającym gojenie rany, HBO stymuluje aktywność osteoblastów i osteoklastów, prowadząc do szybszej przebudowy kostnej (3, 26, 28).

Terapia tlenem hiperbarycznym może być zastosowana w wielu stanach chorobowych. Możliwości wykorzystania HBO nie są jeszcze do końca poznane i wymagają dalszych badań.

TOKSYCZNOŚĆ TLENU I OGRANICZENIA STOSOWANIA TERAPII TLENEM HIPERBARYCZNYM

Wdychanie nadmiernej ilości tlenu jest toksyczne.

W organizmie tlen ulega przemianom, w wyniku których powstają toksyczne metabolity pośrednie. Jeżeli dojdzie do zachwiania równowagi pomiędzy produkcją reaktywnych form tlenu a działaniem fizjologicznych układów antyoksydacyjnych, może nastąpić uszkodzenie tkanek w mechanizmie stresu oksydacyjnego. Powstaje wtedy wiele niekorzystnych dla organizmu zmian. Na skutek oksydacji wielonienasyconych kwasów tłuszczowych zostaje uszkodzona struktura kwasów nukleinowych i błon komórkowych. Część enzymów ulega inaktywacji. Uwalnianie czynników chemotaktycznych nasila niekorzystne zmiany.

W warunkach prawidłowych organizm jest chroniony przed szkodliwymi działaniami reaktywnych związków tlenu dzięki produkcji białek wiążących metale przejściowe i hamujących produkcję toksycznych związków tlenu, obecności wymiataczy wolnych rodników tlenowych, aktywności czynników regulacyjnych i niektórych enzymów.

Najbardziej narażone na toksyczne działanie tlenu są płuca; największą zaś wrażliwość na te toksyczne związki wykazuje tkanka mózgowa (1).

Przy zatruciu tlenem mogą się więc pojawić objawy ze strony układu oddechowego (zespół Lorraine-Smitha) i nerwowego (efekt Paula Berta). Zwykle jako pierwsze pojawiają się objawy ze strony układu oddechowego, które mogą wystąpić przy ciśnieniu do 2,5 ATA. Są to: ucisk lub ból w klatce piersiowej, kaszel, podrażnienie lub zapalenie tchawicy i oskrzeli, bezdech i zmniejszenie pojemności życiowej płuc. Objawy te mogą wystąpić po 4-6-godzinnej ekspozycji na ciśnienie 2 ATA. Później może wystąpić uszkodzenie nabłonka pęcherzyków płucnych i śródbłonka naczyń włosowatych, obrzęk płuc, niedodma z niedotlenieniem. Ze strony układu nerwowego mogą pojawić się nudności, zawroty głowy,

czkawka, drżenie mięśni powiek, twarzy, zaburzenia widzenia i słuchu, halucynacje, uczucie utrudnionego oddychania, zmęczenia i lęku. Może dojść do utraty świadomości i drgawek toniczno-klonicznych (1, 2, 16, 26).

Do toksycznych objawów stosowania tlenu dochodzi w czasie leczenia HBO bardzo rzadko.

W razie wystąpienia objawów, mogących świadczyć o niekorzystnym działaniu tlenu w trakcie sesji hiperbarycznej należy zaprzestać wentylacji tlenowej i rozpocząć wentylację powietrzną (1).

W celu uniknięcia występowania tego rodzaju powikłań stosuje się w trakcie zabiegu tzw. przerwę powietrzną, według schematu: 20 minut wentylacji tlenem i 5 minut wentylacji powietrzem lub 30 minut wentylacji tlenem i 10 minut wentylacji powietrzem (1, 2, 16).

PRZECIWSKAZANIA DO LECZENIA W KOMORZE HIPERBARYCZNEJ

- **Nieleczona odma** – jest bezwzględnym przeciwwskazaniem do stosowania HBO. Przed rozpoczęciem leczenia w komorze hiperbarycznej konieczne jest odbarczenie odmy. Zgodnie z prawem Boyle'a możliwość narastania odmy przy dekompresji zagraża życiu pacjenta (1).

Stosowanie niektórych leków, głównie cytostatyków:

- **Dokсорubicyna:** nie powinno się stosować HBO przez 2-3 dni po zażyciu; może dojść do uszkodzenia mięśnia sercowego.
- **Bleomycyna:** nasila toksyczne działanie tlenu na płuca. Leczenie Bleomycyną, nawet przebyte dawno, jest bezwzględnym przeciwwskazaniem do HBO.
- **Cisplatinum:** powoduje zmniejszenie syntezy kolagenu i fibroblastów. HBO nasila działanie cytotoksyczne leku, co w efekcie powoduje opóźnienie gojenia ran.

Inne leki:

- **Disulfiram:** hamuje produkcję dysmutazy nadtlenkowej, więc osłabia wydolność układów antyoksydacyjnych.
- **Mafenide acetale:** powoduje obwodowe rozszerzenie naczyń, co w połączeniu z centralnym zwężeniem naczyń, wywołanym przez HBO, pogarsza gojenie się ran (1).
- **Ciąża** – poza stanami nagłymi, jak zatrucie tlenkiem węgla (26).
- **Nowotwory** – zgodnie z obecną wiedzą, współistnienie choroby nowotworowej nie jest przeciwwskazaniem do HBO (16). Tlenoterapia hiperbaryczna zwiększa wrażliwość komórek nowotworowych na radioterapię, chemioterapię, fototerapię (15, 22). Szerokie badania tego zagadnienia przeprowadził Feldmeier. Dokonał on przeglądu piśmiennictwa z lat 1960-2001, w którym prezentowane były badania za poziomie molekularnym, komórkowym i na zwierzętach. Skupiały się one na ocenie wpływu tlenoterapii hiperbarycznej na wzrost komórek nowotworowych w hodowlach tkankowych, dynamikę wzrostu guzów u zwierząt doświadczalnych, na wydajność

układów antyoksydacyjnych i wybrane parametry układu odpornościowego. Ponadto przeprowadził badania, w których oceniał opinie lekarzy na stosowanie HBO u pacjentów z chorobą nowotworową (19). Według Feldmeiera i wsp., większość opublikowanych prac nie wskazuje na to, by HBO była przyczyną rozwoju nowotworów. Potwierdzają to również późniejsze doniesienia.(13, 17, 18, 20, 21, 22).

- **Rozrusznik serca** – stosowanie wysokich ciśnień może być przyczyną deformacji pewnych elementów rozrusznika (1).
- **Rozedma z retencją CO₂** – u tych chorych hipoksemia stanowi stymulację do oddychania; należy uwzględnić ryzyko wystąpienia bezdechu (1).
- **Padaczka i skłonność do drgawek** – nie stanowią bezwzględnego przeciwwskazania do HBO. Chorzy powinni przed leczeniem otrzymać odpowiednie leki przeciwdrgawkowe (1).
- **Gorączka** – ponieważ predysponuje do wystąpienia drgawek, należy przed leczeniem HBO obniżyć temperaturę ciała chorego (1).
- **Infekcje wirusowe** – ponieważ infekcje mogą ulec zaostrzeniu, należy zaprzestać leczenia HBO do ustąpienia objawów infekcji, poza stanami wymagającymi natychmiastowego leczenia tlenem hiperbarycznym (1).
- **Wrodzona sferocytoza** – krwinki czerwone cechuje kruchość; w czasie leczenia HBO mogą ulec hemolizie (1).

Powikłania terapii hiperbarycznej: najczęstszym powikłaniem w czasie leczenia tlenem hiperbarycznym jest uraz ciśnieniowy ucha i uraz ciśnieniowy zatok, powodujące u pacjentów silne dolegliwości bólowe, należy uprzedzić pacjentów przed rozpoczęciem leczenia o możliwości wystąpienia takiego powikłania, i podać sposoby wyrównywania ciśnienia w uchu środkowym (przełykanie, żucie).

Podczas długotrwałego leczenia (ponad 20 zabiegów) może wystąpić czasowe pogorszenie widzenia na odległość, ustępujące samoistnie po 6-8 tygodniach. Przyczyna wystąpienia tego powikłania nie jest jeszcze znana. Zwiększone ryzyko rozwoju zaćmy w czasie leczenia tlenoterapią hiperbaryczną występuje u pacjentów z cukrzycą, po sterydoterapii i radioterapii w zakresie głowy i szyi.

Zaobserwowano także nudności, wymioty, bóle brzucha, drętwienia i mrowienia palców kończyn, bóle i zawroty głowy, kaszel, drżenia, zasłabnięcia, incydenty nadciśnienia, obrzęk płuc (1, 2, 3, 16, 26).

W celu zakwalifikowania pacjenta do leczenia wymagane jest (zacytowano zgodnie z wymogami zamieszczonymi na stronie internetowej Mazowieckiego Centrum Tlenoterapii Hiperbarycznej):

1. Skierowanie, które powinno zawierać:

- pieczętkę lub nadruk z nazwą, adresem, numerem telefonu świadczeniodawcy oraz numerem umowy zawartej z Narodowym Funduszem Zdrowia,

- datę wystawienia skierowania,
- imię i nazwisko pacjenta oraz PESEL,
- rozpoznanie i kod jednostki chorobowej według ICD-10 zgodny z wymogami NFZ,
- cel skierowania (rodzaj porady lub przekazanie do leczenia albo rodzaj procedury),
- podpis i pieczętkę lekarza z czytelnym numerem prawa wykonywania zawodu,
- załączone lub opisane wykonane dotychczas badania lub dotychczasowe postępowanie,
- przy zapaleniu kości – scyntygrafia, TK, MR,
- przy zakażeniu – posiewy,
- przy nagłej głuchocie – audiogram.

2. Dokument ubezpieczenia zdrowotnego (karta chipowa, książeczka ubezpieczeniowa, odcinek renty).

3. Rtg klatki piersiowej – ważne 1 rok.

4. Aktualne EKG –ważne 2 tygodnie.

5. Karty informacyjne z dotychczasowego leczenia.

6. Ewentualne badania dodatkowe po konsultacji z lekarzem ośrodka.

Dostępność HBO w Polsce:

- Klinika Medycyny Hiperbarycznej i Ratownictwa Morskiego – Krajowy Ośrodek Medycyny Hiperbarycznej, ul. Powstania Styczniowego 9b, 81-519 Gdynia, tel. 058 349 37 05, 058 349 37 04, e mail: hyperbar@acmmit.gdynia.pl
- Mazowieckie Centrum Terapii Hiperbarycznej, NZOZ Mazowieckie Centrum Terapii Hiperbarycznej i Leczenia Ran, ul. Szaserów 38, 04-306, Warszawa, tel. 022 610 31 44 e mail: hiperbaria@hiperbaria.pl
- Pracownia Hiperbarii Tlenowej Centrum Leczenia Oparzeń, ul. Jana Pawła II 2, 41-100 Siemianowice Śląskie, tel. 032 735 74 56, 032 735 75 85, e mail: clo@clo.com.pl
- Dolnośląski Ośrodek Tlenoterapii Hiperbarycznej, Centrum Kliniczne Akademii Medycznej we Wrocławiu budynek K, ul. Borowska 213, 50-556 Wrocław, tel.071 316 80 27, 0500 11 33 45, e mail: oth@creator.wroc.pl

.....

PIŚMIENNICTWO

1. Szymańska B., Kawecki M., Knefel G: Kliniczne aspekty hiperbarii tlenowej. *Wiadomości Lekarskie*, 2006, LIX, 1-2.
2. . Narożny W, Siebert J.: Możliwości i ograniczenia stosowania tlenu hiperbarycznego w medycynie <http://www.fmr.viamedica.pl>
3. Mazowieckie Centrum Terapii Hiperbarycznej <http://www.hiperbaria.pl>
4. . Hanzelka K: Tlen O2 terapia <http://bioinfo.mol.uj.edu.pl>
5. Prawo Henry'ego, Prawo Charlesa, Prawo Boyle'a-Mariotta, Prawo Daltona <http://pl.wikipedia.org>
6. Knefel G. i wsp.: Podstawy hiperbarycznej terapii tlenowej: *Leczenie Ran* 2006 T3 z.3 s. 83-93.
7. Kawecki M.i wsp.: Leczenie tlenem hiperbarycznym w doświadczeniach Centrum Leczenia Oparzeń: *Leczenie Ran*, 2008, t 5, z.2, s.65.
8. Centrum Leczenia Oparzeń Pracownia Hiperbarii Tlenowej – materiały informacyjne.
9. Knefel G. i wsp.: Hiperbaryczna terapia tlenowa jako uzupełnienie chirurgicznego leczenia stopy cukrzycowej. *Inżynieria Biomed.*, 2008, vol. 14, 1 s. 47-50.
10. Jagodziński K.: Stopa cukrzycowa <http://www.resmedica.pl>
11. Kawecki M.i wsp.: Terapia tlenem hiperbarycznym w centrum leczenia oparzeń. Doświadczenia własne. *Balneologia Polska*, 4, 2006.
12. Kawecki M. i wsp.: Aktualne wskazania i możliwości zastosowania hiperbarycznej terapii tlenowej. *Balneologia Polska* 4, 2006.
13. Kian Tai Chong et al.: Hyperbaric oxygen does not accelerate latent in vivo prostate cancer: implications for the treatment of radiation-induced haemorrhagic cystitis; 2004 *BJU International*, 1994, 1275-1278.
14. Wróblewski P.i wsp.: Próba optymalizacji postępowania w oparzeniach dróg oddechowych na podstawie 10-letnich doświadczeń Oddziału Anestezjologii i Intensywnej Terapii Centrum Leczenia Oparzeń w Siemienowicach Śląskich; *J. Orthop. Trauma. Surg. Rel Res* 2 (10), 2008.
15. Bennett M. et al: Hyperbaric oxygenation for tumour sensitisation to radiotherapy <http://www.thecochranlibrary.com>
16. Narożny W.: Hiperbaria tlenowa w patologii ucha wewnętrznego – fakty i mity. *Otolaryngologia*, 2006, 5(4), 153-161.
17. Feldmeier JJ et al.: Does hyperbaric oxygen have a cancer-causing or – promoting

effect? A review of the pertinent literature: Undersea Hyperb. Med., 1994 Dec., 21(4): 467-75.

18. Feldmeier J. et al.: Hyperbaric oxygen: does it promote growth or recurrence of malignancy? : Undersea Hyperb. Med. 2003 Spring., 30(1): 1-18.

19. Feldmeier JJ et al.: Hyperbaric oxygen and the cancer patient: a survey of practice patterns: Undersea Hyperb. Med., 1993 Dec; 20(4): 337-45.

20. Haroon AT., Patel M., Al-Mehdi AB: Lung metastatic load limitation with hyperbaric oxygen: Undersea Hyperb. Med., 2007 Mar-Apr;34(2):83-90.

21. Daruwalla J., Christophi C.: Hyperbaric oxygen therapy for malignancy: a review: World J Surg., 2006 Dec; 30(12):2112-31.

22. Al.-Waili NS. Et al.: Hyperbaric oxygen and malignancies: a potential role in radiotherapy, chemotherapy, tumor surgery and phototherapy: Med. Sci Monit. 2005 Sep;11(9): RA 279-89. Epub, 2005 Aug.26.

23. Roeckl-Wiedmann I., Bennett M., Kranke P.: Systematic review of hyperbaric oxygen in the management of chronic wounds: Be J Surg., 2005 Jan; 92(1) 24-32.

24. Kranke P. et al.: Hyperbaric oxygen therapy for chronic wounds: Cochrane Database Syst. Rev., 2004, (2): CD 004123.

25. Broussard CL.: Hyperbaric oxygenation and wound healing: j Wound Ostomy Continence Nurs., 2003 Jul., 30(4): 210-6.

26. Oxynet – Information Resources on Hyperbaric Oxygen Therapy and Diving Medicine <http://www.echm.org>

27. Dolnośląski Ośrodek Tlenoterapii Hiperbarycznej: <http://www.hiperbaria.wroc.pl>

28. UHMS Approved indications for Hyperbaric Oxygen: <http://www.richmond-hyperbaric.com>

29. Liana R.: Metoda oksymetrii: <http://robert-liana.webpark.pl>

.....
.....

Adres do korespondencji:

Urszula Łatka
Ul. Wrzosowa 4
432-150 Bieruń
tel. 606 663 922

Artykuł nadesłano: 05.10.2008
Zaakceptowano do druku: 16.02.2009

Klinika Medycyny Hiperbarycznej i Ratownictwa Morskiego - Krajowy Ośrodek Medycyny Hiperbarycznej

Instytut Medycyny Morskiej i Tropikalnej

PUBLIKACJE

Najważniejsze publikacje:

- 1. Application of hyperbaric oxygen therapy in non-healing sternum after cardiosurgical procedures.**
Z. Sićko, P. Siondalski, J. Kot, E. Pęgiel-Sićko, M. Graff, W. Groblewski
14th Annual Meeting of Surgical Infection Society Europe, May 31 – June 2, 2001, Gdansk, Poland
- 2. Usefulness of HBO application in extensive post traumatic soft tissue lesion of lower extremities.**
Z. Sićko, J. Wojtiuk, J. Kot, E. Pęgiel-Sićko, M. Graff, W. Groblewski
14th Annual Meeting of Surgical Infection Society Europe, May 31 – June 2, 2001, Gdansk, Poland
- 3. Hyperbaric Oxygen Therapy improves clinical effects of transmyocardial laser revascularisation and CABG.**
Z. Sićko, J. Kot, L. Anisimowicz, M. Narkiewicz, W. Pawliszak, P. Bętlejewski
27th Annual Scientific Meeting of the European Underwater & Baromedical Society on Diving, Hyperbaric Medicine, 12 – 16 September 2001, Hamburg, Germany
- 4. Microbiology of the wounds in patients with clinical gas gangrene: a 7-year retrospective observation.**
J. Kot, Z. Sićko, E. Pęgiel
28th Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine, September 4 – 8, 2002 Brugge, Belgium
- 5. The efficacy of corticosteroid treatment and hyperbaric oxygen therapy in Sudden Sensorineural Hearing Loss.**
Z. Sićko, J. Kot, W. Narożny, C. Stankiewicz
28th Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine, September 4 – 8, 2002 Brugge, Belgium
- 6. Evolution of relation P1(P2) describing saturation decompressions after air hyperbaric expositions.**
Z. Sićko, J. Kot, T. Doboszyński.
International Maritime Health, 2002; Vol. 53(1/4); 102-110
- 7. Evolution of values of the longest tissue half-time of nitrogen desaturation from divers'body.**
Z. Sićko, J. Kot

- 29th Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine, August 28 – 30, 2003 Copenhagen, Denmark
8. **The maximum tissue half-time for nitrogen elimination from divers' body.**
Z. Sićko, J. Kot, T. Doboszyński.
International Maritime Health, 2003; Vol. 54(1-4); 108-116
 9. **Oxidative stress during oxygen tolerance test.**
J. Kot, Z. Sićko, M. Woźniak
International Maritime Health, 2003; Vol. 54(1-4); 117-126
 10. **Zasady leczenia nagłego niedosłuchu czuciowo-nerwowego steroidami i tlenem hiperbarycznym na podstawie materiału Kliniki Gdańskiej.**
W. Narożny, Z. Sićko, T. Przewoźny, C. Stankiewicz, J. Kot, J. Kuczkowski
Otolaryngologia Polska, 2004 LVIII: 821-830
 11. **Usefulness of high doses of glucocorticoids and hyperbaric oxygen therapy in sudden sensorineural hearing loss treatment**
W. Narożny, Z. Sićko, T. Przewoźny, C. Stankiewicz, J. Kot, J. Kuczkowski
Otology & Neurotology 2004; 25(6): 916-923
 12. **Protein peroxidation during 0.5-hour exposure to 280 kPa(a) PO₂ in healthy humans.**
J. Kot, Z. Sićko, M. Woźniak
30th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine, September 15-19, 2004 Ajaccio, France
 13. **A European Code of Good Practice for Hyperbaric Oxygen Therapy.**
J. Kot, J. Desola, A. G. Simao, R. Gough-Allen, R. Houman, J.-L. Meliet, F. Galland, C. Mortensen, P. Mueller, S. Sipinen.
European Journal of Underwater and Hyperbaric Medicine, 2004; 5(1): 1-68
 14. **Comparison of incident rates during intensive care versus non-intensive care HBO sessions – A prospective one month observational study in eight European centres.**
J. Kot, M. Hajek, R. Houman, H. Klemen, A. Kemmer, H. Kirchner, P. Longobardi, C. Mortensen, J. Pertilla
XV International Congress of Hyperbaric Medicine and 31st Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine, September 7-10, 2005 Barcelona, Spain
 15. **Medical equipment for multiplace hyperbaric chambers. Part 1: Devices for Monitoring and Cardiac Support.**
J. Kot
Eur J Underwater Hyperbar Med, 2005; 6(4): 113-118
 16. **Medical equipment for multiplace hyperbaric chambers. Part 2: Ventilators.**
J. Kot
Eur J Underwater Hyperbar Med, 2006; 7(1): 9-12
 17. **Medical equipment for multiplace hyperbaric chambers. Part 3: Infusion pumps and syringes.**
J. Kot
Eur J Underwater Hyperbar Med, 2006; 7(2): 29-31
 18. **Pneumoperitoneum after diving – two clinical cases and literature review** J. Kot, Z. Sićko, M. Michałkiewicz, P. Pikiel
Internat Marit Health, 2005; 56(1-4): 135-145
 19. **Hyperbaric oxygen therapy in the treatment of complications of irradiation in head and neck area**

W. Narożny, Z. Sićko, J. Kot, C. Stankiewicz, T. Przewoźny, J. Kuczkowski
Undersea Hyperbar. Med. 2005; 32(2): 103-110

20. **Prognostic factors in sudden sensorineural hearing loss: our experience and a review of the literature**

W. Narożny, J. Kuczkowski, J. Kot, C. Stankiewicz, Z. Sićko, B. Mikaszewski
Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. 2006; 115(7): 553-558

21. **Value of hyperbaric oxygen in bacterial and fungal malignant external otitis treatment**

W. Narożny, J. Kuczkowski, C. Stankiewicz, J. Kot, B. Mikaszewski, T. Przewoźny
Eur. Arch. Otorhinolaryngol. 2006; 263(4): 680-684