

Was Allgemeinärzte wissen müssen

Hyperbare Medizin

Dr. med. Philippe Furger^a, Dr. med. Roland Soldner^b, Dr. med. Rodrigue Pignel^c, Dr. med. Bertrand Delafosse^d

^a Chargé de cours Hôpital universitaire Berne (BIHAM) et cabinet médical, Vaumarcus, Suisse; ^b Dr Soldner Roland, médecin urgentiste, Praticien Hospitalier, centre de médecine hyperbare, Lyon France; ^c Médecin adjoint responsable du Programme de Médecine hyperbare, Hôpitaux Universitaires Genève, Suisse;

^d Ancien responsable du service médecine hyperbare Hôpital Edouard Herriot, Lyon, France



Die hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) ist Allgemeinärzten häufig kaum als Therapieoption bekannt, obwohl sie diese verschreiben könnten. In Akutsituationen wie bei einer CO-Vergiftung und blasenbedingten Erkrankungen (Gasembolie, Dekompressionskrankheit) ist die HBO die Behandlung erster Wahl. Bei chronischen Erkrankungen (Wundheilungsstörungen, postaktinische Läsionen) stellt sie eine adjuvante Therapie dar. Dieser Beitrag soll einen Überblick über das Prinzip der und mögliche Indikationen für die HBO verschaffen.

Einleitung

Das Grundprinzip der hyperbaren Sauerstofftherapie (HBO) besteht darin, Patienten Sauerstoff zu verabreichen, welchen sie unter einem Partialdruck von über 1 bar (absoluter atmosphärischer Druck) inhalieren. Meist handelt es sich dabei um 100%igen Sauerstoff, manchmal um Sauerstoff-Helium-Gemische (Heliox) oder Gemische von Sauerstoff mit anderen Gasen (z.B. Nitrox), je nach Indikation, Dekompressionstabelle und Zentrum für hyperbare Sauerstofftherapie.

Neben einigen Indikationen, bei denen die hydrostatische Druckerhöhung in der Druckkammer lebensrettend ist (z.B. bei Gasembolie), bewirkt die HBO eine Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks im Blut. Der Sauerstoff bindet einerseits an das Hämoglobin (1 g Hämoglobin kann höchstens 1,34 ml Sauerstoff binden) und reichert sich andererseits in gelöster Form im Blutplasma an, wo er einen grossen «Reservepool» bildet. Diese Reserve erhöht wiederum die Diffusionsdistanz zwischen Blut und Gewebe, was für die Behandlung einer lokalen Hypoxie wie z.B. in radionekrotischem Gewebe oder bei Mikro- bzw. Makroangiopathien (diabetischer Fuss) essentiell ist. Und schliesslich wird durch den erhöhten Sauerstoffpartialdruck in normoxischem Gewebe durch Vasokonstriktion und in hypoxischem Gewebe durch Vasodilatation die Mikrozirkulation beeinflusst, was beispielsweise akute Traumata mit gequetschten Gliedmassen oder chronische Läsionen beim diabetischen Fussyndrom positiv beeinflusst. In Abbildung 1 ist die Sauerstoffverteilung im Gefässinneren schematisch dargestellt.



Philippe Furger

Indikationen für eine HBO in Europa

Tabelle 1 (nicht vollständig) gibt eine Übersicht über die Indikationen einer HBO sowie den jeweiligen Empfehlungsgrad. Auf ausgewählte Indikationen wird später im Artikel eingegangen.

Kontraindikationen der HBO

Als *absolute* Kontraindikationen gelten:

- Pneumothorax ohne Drainage;
- Mediastinalemphysem.

Bei anderen Erkrankungen müssen die Ursachen für eventuelle Kontraindikationen abgeklärt werden. Es bestehen folgende *vorübergehende* Kontraindikationen:

- Asthmaanfall
- Akutes Koronarsyndrom (NSTEMI, STEMI und instabile Angina pectoris). Anmerkung: Ein Koronarsyndrom kann im Zusammenhang mit einer CO-Vergiftung oder einer koronaren Gasembolie auftreten, welche wiederum eine dringliche Indikation für die HBO-Therapie darstellen.
- Unbehandelte oder unzureichend eingestellte Epilepsie. Anmerkung: Diese Patienten können nach einer Anpassung ihrer Behandlung therapiert werden. Dazu wird ein (zusätzliches) Antiepileptikum wie Levetiracetam verabreicht (z.B. 500–1000 mg p.o. eine Stunde vor jeder Sitzung).
- Operationen im unteren Teil der Speiseröhre und enges Magenband (beim Trinken kohlenensäurehaltiger Getränke muss problemlos aufgestossen werden können).

Dringliche Indikationen für eine HBO

In Tabelle 1 sind die Indikationen für eine HBO in Akutsituationen zusammengefasst. Auf folgende Erkan-

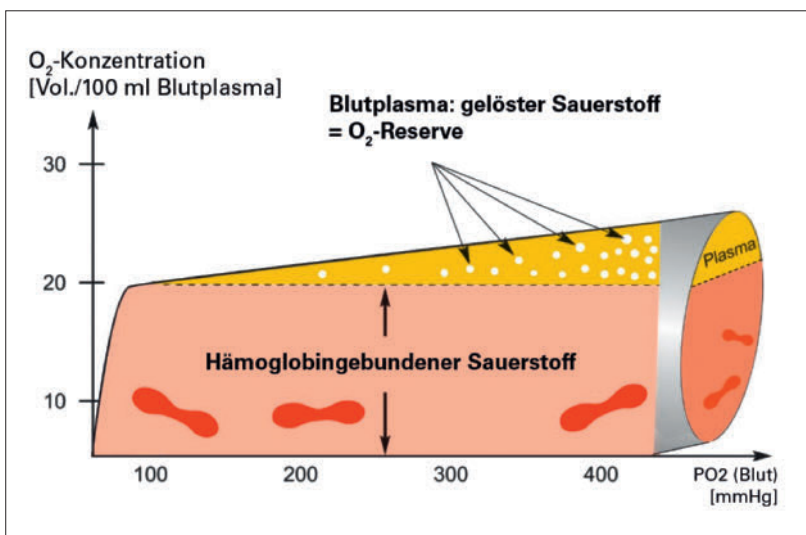


Abbildung 1: Sauerstoffverteilung im Gefässinneren während einer HBO-Sitzung. Das Blutplasma dient als «Reservepool» zur Speicherung des gelösten Sauerstoffs.

Tabelle 1: Indikationen für eine hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) und ihr Empfehlungsgrad (angepasst gemäss [2]).

Indikationen	Empfehlung
Akute Erkrankungen	
CO-Vergiftungen bei Patienten mit hohem kurz- oder langfristigen Komplikationsrisiko: – Bewusstseinsverlust – Neurologische, kardiologische, respiratorische oder psychologische Symptome – Schwangere	1B
Dekompressionskrankheit – Initialtherapie – Behandlung von Restschäden	1C 1C
Gasembolie	1C
Bakterielle Infektion mit anaeroben oder gemischten Keimen, die Weichteilnekrosen verursachen	1C
Gequetschte Gliedmassen (offene Fraktur Grad III nach Gustilo B und C)	1B
Gequetschte Gliedmassen ohne Fraktur	1C**
Hörsturz	1C**
Chronische Erkrankungen	
Bestrahlungsfolgen – Osteoradionekrose des Unterkiefers – Präventivbehandlung gegen Osteoradionekrose des Unterkiefers bei Zahnextraktion im bestrahlten Gebiet – Weichteilradionekrose (Proktitis, Zystitis)	1B 1B 1B**
Diabetischer Fuss mit chronischer kritischer Ischämie, wenn tcpO ₂ * unter HBO >100 mm Hg	2B
Femurkopfnekrose	2B**

* tcpO₂ = transkutaner Sauerstoffpartialdruck (polarographische Messung mittels einer auf 42–44 °C erwärmten Sauerstoffelektrode). Anhand des tcpO₂-Werts lässt sich der Ischämiegrad des Fusses bestimmen. Bei Belastungsischämie (Claudicatio) beträgt der tcpO₂-Wert <35 mm Hg und bei einer chronischen kritischen Ischämie <10 mm Hg.

** Überarbeitung der Evidenzgrade der Empfehlungen (gemäss «The 10th European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine», Lille, France; noch nicht veröffentlicht)

kungen soll in diesem Beitrag näher eingegangen werden: CO-Vergiftung, blasenbedingte Erkrankungen (Gasembolie, Dekompressionskrankheit) und Hörsturz.

Kohlenmonoxid (CO)-Vergiftung

Die weltweite Mortalität infolge einer CO-Vergiftung beträgt 0–30% [3–5].

Seit den 60er Jahren ist die HBO der Goldstandard bei CO-Vergiftungen [6–9]. Die hohe Wirksamkeit der HBO bei einer CO-Vergiftung ist auf die zwei folgenden Aspekte zurückzuführen: (1) Durch den hohen Sauerstoffpartialdruck kann das CO, welches sich stark an das Hämoglobin bindet (um das 230–250-Fache höhere Bindungsaffinität als Sauerstoff), gelöst werden und (2) wird die Halbwertszeit von CO durch die HBO von 5 h bei Raumluft unter 2,5 at in der Druckkammer auf 23 min verringert [10].

Somit besteht kein Zweifel daran, dass durch die HBO schwere und tödliche Komplikationen einer CO-Vergiftung verhindert werden können. Die Wirksamkeit der HBO zur präventiven Behandlung neurologischer Spätschäden nach einer CO-Vergiftung, auch unter der Bezeichnung «delayed neurological syndrome» (DNS; verzögerte neurologische Schäden) bekannt, ist jedoch nach wie vor umstritten [11, 12]. Letztere kommen nicht selten vor. Sie betreffen 10–40% der Patienten [13–17] und äussern sich in folgenden klinischen Symptomen: Parkinsonismus, Verwirrheitszustand, Apathie, Mutismus, Harninkontinenz, Persönlichkeits- und Konzentrationsstörungen, Demenz, Epilepsie, Chorea. In einer Cochrane-Analyse wurden sechs Studien (mit 1361 Patienten) untersucht. Von diesen zeigten zwei einen Nutzen der HBO in Form einer verringerten Inzidenz verzögerter neurologischer Schäden nach einem Monat, während vier andere diese Resultate nicht bestätigten. Bei drei davon galt jedoch eine schwere CO-Vergiftung als Ausschlusskriterium, obgleich gerade bei diesen Patienten der Nutzen einer HBO am höchsten ist.

Blasenbedingte Erkrankungen: Gasembolie, Dekompressionskrankheit

Die meisten Gasembolien sind iatrogen durch Venenkatheter, chirurgische Eingriffe (Neurochirurgie, HNO, Orthopädie, Gynäkologie, Kardiologie) und Überdruckbeatmung bedingt. Andere Ursachen sind seltener (Dekompressionskrankheit, thorakale und abdominale Traumata). Gasembolien werden in arterielle und venöse Gasembolien unterteilt. Nicht alle Patienten mit Gasembolien werden in der Druckkammer behandelt. Bei schweren klinischen Symptomen ist die HBO jedoch von grossem Nutzen, was bei einer paradoxen arteriellen Gasembolie meist der Fall ist. Bei hämodynamisch

instabilen Patienten mit neurologischen Symptomen oder Anzeichen für Endorganschäden sollte frühzeitig mit einer HBO begonnen werden [18–20].

Ihr Nutzen ist einerseits mechanischer Art, da durch den hohen hydrostatischen Druck die Luftblasen platzen, und andererseits durch eine Diffusionswirkung bedingt, da durch die HBO ein grosses Druckgefälle entsteht, wodurch die Gase aus den Luftblasen ins Blut diffundieren können («shrinkage»). Eine solche HBO-Sitzung kann bis zu 6–8 Stunden dauern. Die Zahl der Sitzungen ist vom klinischen Verlauf abhängig. Die HBO sollte frühzeitig begonnen werden (<4–6 Stunden nach Symptombeginn, es wurde jedoch auch noch über einen Nutzen während der ersten 30 Stunden berichtet [21, 22]).

Hörsturz

Ein idiopathischer Hörsturz ist definiert als plötzlicher Hörverlust innerhalb von 24–72 Stunden ohne erkennbare Ursache. Dabei muss eine Schallempfindungsstörung mit einem Hörverlust von >30 dB über drei aufeinander folgende Frequenzen vorliegen. Im Endstadium spricht man von Taubheit. Die Spontanheilungsrate des Hörverlusts beträgt 60–89% [23]. Wird die HBO innerhalb der ersten 14 Tage nach Symptombeginn durchgeführt, hat dies in mindestens 25% der Fälle eine >50%ige Besserung zur Folge [24]. Die HBO ist adjuvant zur konventionellen Therapie des Hörsturzes indiziert (Empfehlungsgrad 1C) [25]. Entsprechend dem klinischen Verlauf findet jeweils eine Sitzung pro Tag während 10 Tagen statt. Dabei ist eine audiometrische Kontrolle erforderlich.

Chronische Erkrankungen mit Indikation für eine HBO

Bestrahlungsfolgen

Die Inzidenz von Bestrahlungsfolgen ist hoch (10–35%). Weltweit unterziehen sich jährlich über 4 Millionen Menschen mit Neoplasien einer Strahlentherapie [26]. Die zur Tumorbehandlung eingesetzte Strahlentherapie hat Akut- (während der Behandlung) und Spätschäden (nach drei Monaten bis mehreren Jahren, durchschnittlich nach zwei Jahren) zur Folge. Die Kaskade, welche zu Bestrahlungsfolgen an verschiedensten Geweben (z.B. Knochen, Blase, Darm, Haut) führt, kann durch einen chirurgischen Eingriff, ein Trauma oder eine lokale (selbst banale) Infektion ausgelöst werden. Die HBO trägt zur Erneuerung des beschädigten Gewebes bei, indem sie die Angiogenese anregt [27]. Von besonderem Nutzen ist die HBO bei Blasenblutungen infolge einer Strahlentherapie: Diese können be-

reits nach ein- bis zweiwöchiger Behandlung (5 Sitzungen/Woche) aufhören. Auf diese Weise kann die Kontrollzystoskopie schneller und unter besseren Voraussetzungen wiederholt werden.

Eine randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studie hat die Wirkung der HBO bei 120 Patienten mit gegenüber der konventionellen Behandlung refraktärer Proktitis nach Strahlentherapie untersucht [28]. Unter HBO hatte sich die Wundheilung gegenüber der Gruppe ohne HBO gemäss LENT-SOMA-Skala signifikant verbessert (NNT = 3) [29]. Überdies wies die Interventionsgruppe eine bessere Lebensqualität auf.

Auswirkungen der HBO auf die Wundheilung

Die Wundheilung hängt eng mit der Neoangiogenese zusammen. Diese wiederum ist mit der sauerstoffabhängigen Aktivität der Fibroblasten und des VEGF («vascular endothelial growth factor receptor») assoziiert. Während einer HBO-Sitzung entsteht durch die hohe Sauerstoffmenge ein Druckgefälle. Dies führt zu einer abwechselnden Hypoxie und Hyperoxie, was für die Anregung des Wundheilungsprozesses unabdingbar ist. Die positiven Auswirkungen der HBO auf die Wundheilung wurden vor allem beim arteriellen Ulkus nachgewiesen. Dies gilt insbesondere für gegenüber der üblichen Therapie resistente Diabetespatienten und die Förderung der Wundheilung von Lappenplastiken bei rekonstruktionschirurgischen Eingriffen, die nicht auf die Standardbehandlung ansprechen [30].

Trotz der Inhomogenität und unterschiedlichen Qualität der Methodik der jeweiligen Studien kommt eine Cochrane-Analyse [31] zu dem Schluss, dass die HBO bei der Behandlung von Ulzerationen des diabetischen Fusses von Nutzen sein kann [32–35]. Andere Forscher haben sich mit der Amputationsrate bei Patienten mit Fussgeschwür und schwerer Ischämie befasst [34–36]. Eine weitere Studie zeigt einen signifikanten Rückgang der Amputationsrate bei 70 Patienten (8,6% in der HBO-versus 33,3% in der Kontrollgruppe; $p = 0,016$) [36].

Klinische Anwendung: Diabetischer Fuss

Das diabetische Fussyndrom kommt häufig vor. Rund 25% der Diabetespatienten (Typ 1 und 2) leidet mindestens einmal im Leben an einem Fussulkus [37].

Bei kritischer Ischämie wirkt sich die HBO positiv auf zahlreiche Regulationssysteme aus, weil sie die Wundheilung anregt:

- Verbesserung der Sauerstoffsättigung des Gewebes und ödemhemmende Wirkung;
- bakterio-statische und bakterizide Wirkung mit positivem Effekt auf die Aktivität der neutrophilen Leukozyten;

Korrespondenz:
Dr. med. Philippe Furger
Clos-du-Château 10
CH-2028 Vaumarcus
philippe_furger[at]investi-
med.ch

- Stimulation und Beschleunigung der Neovaskularisation;
- Fibroblastenstimulation mit Kollagenbildung;
- positive Wirkung auf einen vaskulären endothelialen Wachstumsfaktor.

Eröffnung weiterer HBO- und/oder multidisziplinärer Zentren erforderlich

Die «Popularität» der hyperbaren Sauerstofftherapie hängt stark davon ab, ob sich ein Zentrum für hyperbare Sauerstofftherapie in geographischer Nähe befindet. Wenn ein Patient einen stundenlangen Anfahrtsweg hat, ist dies weder für die Therapieakzeptanz noch -adhärenz optimal.

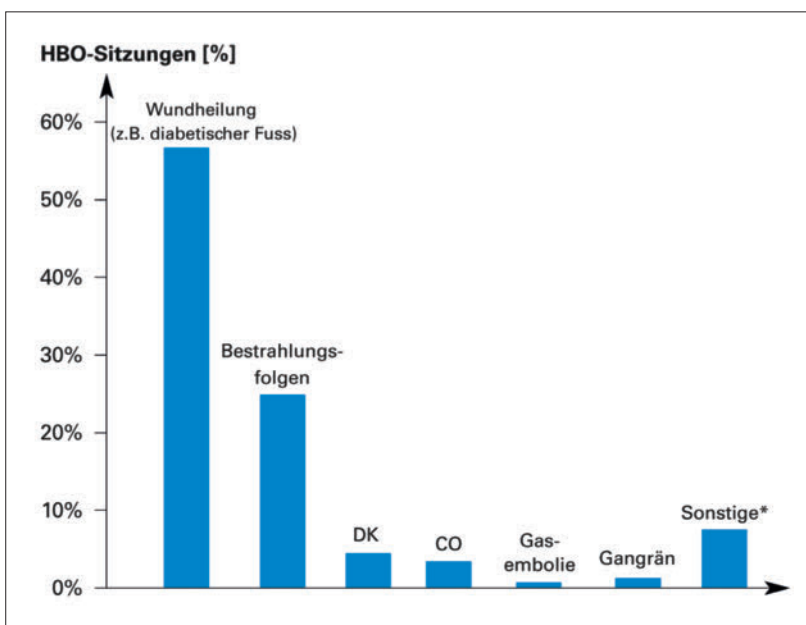


Abbildung 2: Aktivität des Zentrums für hyperbare Sauerstofftherapie in Genf von 2010–2015. DK = Dekompressionskrankheit, CO = Kohlenmonoxidvergiftung.

* Sonstige: Pneumatosis cystoides intestinalis, Hörsturz, Knochenerkrankung

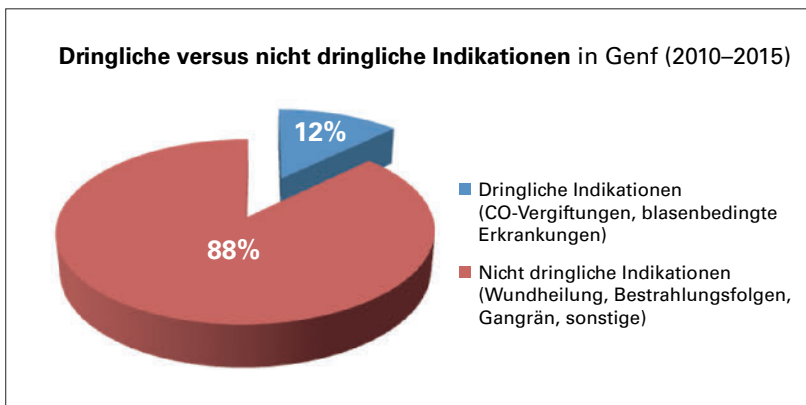


Abbildung 3: Dringliche versus nicht dringliche Indikationen, die im Zentrum für hyperbare Sauerstofftherapie in Genf behandelt werden.

Wissenschaftlich gesehen ist es aus folgenden Gründen sehr schwer, Studien mit hohem Evidenzgrad (randomisiert und doppelblind) durchzuführen:

- ethische Probleme;
- multidisziplinäre Versorgung;
- häufig lange Studiendauer (das Follow-up eines Patienten mit Bestrahlungsfolgen dauert Jahre);
- Entfernung der Patienten von der und Transport zur Druckkammer;
- Therapieadhärenz, insbesondere bei Erkrankungen, die viele Sitzungen erfordern (z.B. Wundheilung, Bestrahlungsfolgen);
- Schulung des medizinischen und paramedizinischen Personals;
- Schwierigkeiten, Allgemein- und Fachärzte von der Wirkung der HBO-Therapie zu überzeugen.

Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, weitere Zentren für hyperbare Sauerstofftherapie zu eröffnen, um eine gleichwertige Behandlung in der gesamten Schweiz zu ermöglichen.

In Abbildung 2 ist die Aktivität des Zentrums für hyperbare Sauerstofftherapie in Genf in Bezug auf die jeweiligen Indikationen dargestellt.

Es ist festzustellen, dass über 80% der HBO-Sitzungen aufgrund der Indikationen «Wundheilung» und «Bestrahlungsfolgen» stattfinden, während Gasembolien nur etwa 1% der Behandlungen ausmachen.

In Abbildung 3 sind die dringlichen den nicht dringlichen Indikationen gegenübergestellt.

Der Anteil der nicht dringlichen Behandlungen stellt mit 88% aller HBO-Sitzungen im 6-Jahres-Durchschnitt die überwiegende Mehrheit der HBO-Therapien in Genf dar. Die dringlichen Indikationen (CO-Vergiftung, Gasembolie/Dekompressionskrankheit) machen hingegen nur 12% der Gesamtaktivität aus.

Die Zahlen des Zentrums für hyperbare Sauerstofftherapie des Hôpital Edouard Herriot in Lyon sind vergleichbar: Wundheilung und Bestrahlungsfolgen 72%, Gasembolie 3,6%. Auch die Aktivitätsverteilung der dringlichen versus nicht dringlichen Indikationen unterscheidet sich nicht (12 und 88%).

HBO-Sitzungen

Eine HBO-Sitzung dauert üblicherweise zwei Stunden (bei Gasembolie bis zu 6–8 Stunden). Der übliche Sauerstoffpartialdruck beträgt 2,5 at (entspricht dem Druck in 15 m Wassertiefe). Die Zahl der HBO-Sitzungen und die Höhe des Drucks richten sich nach der Indikation. Entsprechend erhält ein Patient mit einer CO-Vergiftung eine oder selten zwei bis drei Sitzungen, während sich ein Patient mit Bestrahlungsfolgen häufig über 50 Sitzungen unterziehen muss. Eine HBO-Sitzung kostet etwa 300 CHF und wird von der Grundversicherung (KVG) übernommen.

Das Wichtigste für die Praxis

- Bei der hyperbaren Sauerstofftherapie (HBO) wird Sauerstoff unter einem Partialdruck von über 1 bar (absoluter atmosphärischer Druck) verabreicht.
- Ca. 90% der Aktivitäten in einem Zentrum für hyperbare Sauerstofftherapie sind der Behandlung chronischer Erkrankungen (z.B. Wundheilungsstörungen und postaktinischen Läsionen) gewidmet. Zu den dringlichen Indikationen zählen Kohlenmonoxidvergiftung und Gasembolie.
- Die therapeutische Wirkung der HBO beruht auf der Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks im Blut (Förderung der Angiogenese und Kollagenbildung, bakterizide Wirkung) und den Eigenschaften des hohen hydrostatischen Drucks in der Druckkammer.
- Um die HBO für die gesamte Schweizer Bevölkerung zugänglich zu machen, ist die Eröffnung weiterer Zentren für hyperbare Sauerstofftherapie erforderlich. Für die Versorgung chronischer, gegenüber der Standardbehandlung resistenter Wunden wäre eine Eröffnung multidisziplinärer Zentren, welche u.a. HBO anbieten, äusserst wünschenswert.

Disclosure statement

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

Empfohlene Literatur

- Weaver, Lindell K. Hyperbaric oxygen therapy indications: the Hyperbaric Oxygen Therapy Committee report. Undersea and Hyperbaric Medical Society Hyperbaric Oxygen Committee. Thirteenth edition. Best Publishing Company, 2014.
- Mathieu D, Marroni A, Kot J. Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: preliminary report. *Diving Hyperb Med.* 2016;46(2):122–3.

Literatur

Die vollständige Literaturliste finden Sie in der Online-Version des Artikels unter www.medicalforum.ch.

Literatur

- 1 Hampson NB, ed. *Hyperbaric Oxygen Therapy: 1999 Committee report*. Kensington MD, Undersea and Hyperbaric Medical Society, 1999.
- 2 www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/synthese_0_hb.pdf
- 3 Tibbles PM, Perrotta PL. Treatment of carbon monoxide poisoning: a critical review of human outcome studies comparing normobaric oxygen with hyperbaric oxygen. *Ann Emerg Med*. 1994;24:269–76.
- 4 Hardy KR, Thom SR. Pathophysiology and treatment of carbon monoxide poisoning. *J Toxicol Clin Toxicol*. 1994;32:613–29.
- 5 Hampson NB, Hauff NM. Risk factors for short-term mortality from carbon monoxide poisoning treated with hyperbaric oxygen. *Crit Care Med*. 2008;36:2523–7.
- 6 Smith G, Sharp G.R. The treatment of carbon monoxide poisoning with oxygen under pressure. *Lancet*. 1960;2:905–6.
- 7 Mathieu D, Nolf M, Durocher A, et al. Acute carbon monoxide intoxication. Treatment by hyperbaric oxygen and risk of late sequelae. *Clin Toxicol*. 1989;2:315–24.
- 8 Larcen A, Lambert H. Aspects épidémiologiques, clinico-biologiques et thérapeutiques actuels de l'intoxication oxycarbonnée aiguë. *Bull Acad Nat Med*. 1981;165:471–8.
- 9 Barois A, Grosbuis S, Goulon M. Les intoxications aiguës par l'oxyde de carbone et les gaz de chauffage. *Rev Prat*. 1979;29:1211–31.
- 10 Pace N, Strajman E, Walker EL. Acceleration of carbon monoxide elimination in man by high pressure oxygen. *Science*. 1950;11:652–4.
- 11 Weaver LK, Hopkins RO, Chan KJ, et al. Hyperbaric oxygen for acute carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med*. 2002;347:1057–67.
- 12 Juurlink DN, Buckley NA, Stanbrook MB, et al. Hyperbaric oxygen for carbon monoxide poisoning. *Cochrane Database Syst Rev* 2005.
- 13 Thom SR, Taber RL, Mendiguren II, Clark JM, Hardy KR, Fisher AB. Delayed neuropsychologic sequelae after carbon monoxide poisoning: prevention by treatment with hyperbaric oxygen. *Ann Emerg Med*. 1995;25:474–80.
- 14 Choi IS. Delayed neurologic sequelae in carbon monoxide intoxication. *Arch Neurol*. 1983;40:433–5.
- 15 Kwon OY, Chung SP, Ha YR, et al. Delayed postanoxic encephalopathy after carbon monoxide poisoning. *Emerg Med J*. 2004;21:250–1.
- 16 Hampson NB, Little CE. Hyperbaric treatment of patients with carbon monoxide poisoning in the United States. *Undersea Hyperb Med*. 2005;32:21–6.
- 17 Buckley NA, Juurlink DN, Isbister G, Bennett MH, Lavonas EJ. Hyperbaric oxygen for carbon monoxide poisoning. *Cochrane -Database Syst Rev* 2011.
- 18 Leach RM, Rees PJ, Wilmshurst P. Hyperbaric oxygen therapy. *BMJ*. 1998;317:1140–3.
- 19 Closon M, Vivier E, Breynaert C, et al. Air embolism during an aircraft flight in a passenger with a pulmonary cyst: a favorable outcome with hyperbaric therapy. *Anesthesiology*. 2004;101:539–42.
- 20 The 7th European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine, Lille, France <http://www.echm.org/ECHM-Conferences.htm> (Accessed on August 03, 2010).
- 21 Blanc P, Boussuges A, Henriette K, et al. Iatrogenic cerebral air embolism: importance of an early hyperbaric oxygenation. *Intensive Care Med*. 2002;28:559–63.
- 22 Armon C, Deschamps C, Adkinson C, et al. Hyperbaric treatment of cerebral air embolism sustained during an open-heart surgical procedure. *Mayo Clin Proc*. 1991;66:565–71.
- 23 Heiden C, Porzsoft F, Biesinger E, et al. Spontaneous remission of sudden deafness. *HNO*. 2000;48:621–3.
- 24 Bennett MH, Kertesz T, Yeung P. Hyperbaric oxygen for idiopathic sudden sensorineural hearing loss and tinnitus. *Cochrane Database Syst Rev* 2007.
- 25 The 10th European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine, Lille, France (noch nicht veröffentlicht).
- 26 Bennett MH, Feldmeier J, Hampson N, et al. Hyperbaric oxygen therapy for late radiation tissue injury. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012 May 16;5:CD005005. doi: 10.1002/14651858.CD005005.pub3.
- 27 Marx RE, Johnson RP, Kline SN. Prevention of osteoradionecrosis: A randomized prospective clinical trial of hyperbaric oxygen versus penicillin. *J Am Dent Assoc*. 1985;111:49–54.
- 28 Clarke RE, Tenorio LM, Hussey JR, et al. Hyperbaric oxygen treatment of chronic refractory radiation proctitis: a randomized and controlled double-blind crossover trial with long-term follow-up. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2008;72:134–43.
- 29 Mornex F, Pavy JJ, Denekamp J, et al. Scoring system of late effects of radiations on normal tissues: the SOMA-LENT scale. *Cancer Radiother*. 1997;1:622–68.
- 30 Villanucci S, Di Marzio G, Scholl M, et al. Cardiovascular changes induced by hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Biomed Res*. 1990;17 (Suppl):117.
- 31 Kranke P, Bennett M, Roeckl-Wiedmann I, Debus S. Hyperbaric oxygen therapy for chronic wounds. *Cochrane Database Syst Rev* 2004.
- 32 Stoekenbroek RM, Santema TB, Legemate DA, et al. Hyperbaric oxygen for the treatment of diabetic foot ulcers: a systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2014;47:647–55.
- 33 Roeckl-Wiedmann I, Bennett M, Kranke P. Systematic review of hyperbaric oxygen in the management of chronic wounds. *Br J Surg*. 2005;92:24–32.
- 34 Liu R, Li L, Yang M, Boden G, Yang G. Systematic review of the effectiveness of hyperbaric oxygenation therapy in the management of chronic diabetic foot ulcers. *Mayo Clin Proc*. 2013;88:166–75.
- 35 Goldman RJ. Hyperbaric oxygen therapy for wound healing and limb salvage: a systematic review. *PM R*. 2009;1:471–89.
- 36 Faglia E, Favales F, Aldeghi A et al. Adjunctive systemic hyperbaric oxygen therapy in treatment of severe prevalently ischemic diabetic foot ulcer. A randomized study. *Diabetes Care*. 1996;19:1338–43.
- 37 Boulton AJ, Armstrong DG, Albert SF, et al. Comprehensive foot examination and risk assessment: a report of the task force of the foot care interest group of the American Diabetes Association, with endorsement by the American Association of Clinical Endocrinologists. *Diabetes Care*. 2008;31:1679–85.