

Druckkammerindikationen in der präklinischen Notfallmedizin



Hyperbaric Oxygen Therapy Indications in Preclinical Emergency Medicine

Autoren A. Fichtner, MME

Institute Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Klinikum Chemnitz gGmbH

VNR

2760512016149751467

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-110774>

Notarzt 2016; 32; 180–188

© Georg Thieme Verlag KG

Stuttgart New York

ISSN 0177-2309

Korrespondenzadresse

Dr. med. Andreas Fichtner

Klinik für Anästhesiologie

und Intensivtherapie

Klinikum Chemnitz gGmbH

Flemmingstraße 2

09116 Chemnitz

E-Mail: a.fichtner@skc.de

Dass ein Patient nach einem Tauchunfall in ein Druckkammerzentrum gebracht werden sollte, gehört inzwischen zum Allgemeinwissen. Dabei sind Dekompressionsunfälle beim Tauchen in Deutschland aufgrund der klimatischen Bedingungen selten. Viel häufiger sind andere Notfallindikationen für eine hyperbare Oxygenierung (HBO), die oft zu spät erkannt und dadurch in ihren Heilungschancen limitiert sind. Wann also ist die primäre Einweisung in ein Zentrum mit Möglichkeit der hyperbaren Oxygenierung sinnvoll und nötig? Die Indikationen sollen in dem vorliegenden CME-Artikel pathophysiologisch und nach aktueller Evidenzlage dargestellt werden, um bereits präklinisch und unverzüglich die sinnvollste Therapie und Klinikzuweisung vorzunehmen und dadurch die potenziellen Heilungschancen im Wettlauf gegen die Zeit zu optimieren.

Einleitung

Lernziele Nach der Lektüre dieses Artikels sollen Sie in der Lage sein, präklinisch Indikationen für eine hyperbare Oxygenierung zu erkennen, deren Dringlichkeit zu bewerten und die bestmögliche Zuweisungsentscheidung zu treffen.

Grundlagen der hyperbaren Oxygenierung

Physikalischer Sauerstofftransport Die hyperbare Sauerstofftherapie bzw. hyperbare Oxygenierung (HBO) besteht in der Atmung von Sauerstoff unter Überdruckbedingungen nach spezifischen Therapieprotokollen von bis zu 3bar in einer Druckkammer – einem zumeist stahlwandigen, gasdichten Raum. Dabei werden Gewebssauerstoffpartialdrücke von bis zu 2000mmHg (normal < 100mmHg) erreicht (◊ Abb. 1). Unter diesen Bedingungen wird Hämoglobin als Sauerstofftransporter überflüssig und der Sauerstofftransport ins Gewebe erfolgt rein physikalisch gelöst [1].

Vorteilhafte Effekte Dieses pulsatile, massive Überangebot von Sauerstoff ruft zahlreiche physiologische Effekte hervor (◊ Abb. 2), die bei verschiedenen Therapieindikationen von großem Nutzen sind.

- ▶ Es kommt zur Volumenreduktion von Gasblasen, Steigerung der Löslichkeit von Gasen und damit zum Abtransport und Abbau von jeglichen, z.B. durch Gasembolie oder Dekompressionsunfall hervorgerufenen Gasblasen im Körper.
- ▶ Zudem werden sekundäre Blaseneffekte verhindert bzw. minimiert, die durch inflammationsbedingte Gerinnungsaktivierung an der Gas-Flüssigkeits-Grenzfläche zum Gefäßverschluss mit nachfolgender Schädigung führen.
- ▶ Darüber hinaus wird die hypoxische Penumbra durch Vergrößerung des Sauerstoff-Diffusionsradius um eine Kapillare reduziert, der bei einem Gewebssauerstoffpartialdruck (ptO_2) von < 20mmHg sistierende Kollagenstoffwechsel wird wieder in Gang gesetzt und die Stoffwechselgeschwindigkeit proportional zum ptO_2 erhöht. Dies hat u.a. beschleunigende Effekte auf Wundverschluss und Wundheilung.
- ▶ Der erhöhte paO_2 wirkt zudem vasokonstriktorisch, ödemreduzierend und stimuliert energieabhängige transmembrane Transporte – eine Rationale zum Einsatz dieser Therapieform bei Crush-Verletzungen. Darüber hinaus induziert hyperbarer Sauerstoff weitere biochemische Effekte, die weit über den Zeitraum der einzelnen hyperbaren Sauerstoffexposition andauern, wie:

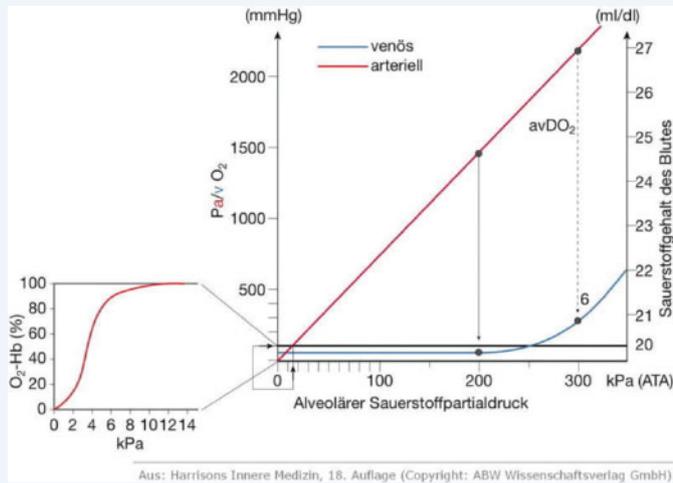


Abb. 1 Relation der Sauerstoffbindungskurve unter hyperbaren Bedingungen – hämoglobinunabhängiger Sauerstofftransport und venöse Vollsättigung.

- ▶ Aktivitätssteigerung der leukozytären Phagozytose
- ▶ gesteigerte Fibroblastenproliferation
- ▶ Aktivitätssteigerung des oxydativen Abwehrsystems
- ▶ Aktivitätssteigerung der Angiogeneese
- ▶ gesteigerte Erythropoese

Hyperoxisch induzierte oxydative Prozesse steigern zum einen direkt, zum anderen über eine enzymatische Bakterizidie in Lymphozyten und Granulozyten die antibiotikapotenzierende Wirkung, insbesondere auf anaerobe Keime aufgrund fehlender antioxydativer Systeme.

Nebenwirkungen Die Nebenwirkungen der hyperbaren Sauerstofftherapie sind bei indikationsgerechter Anwendung sehr gering. Möglich sind Barotraumatata natürlicher gasgefüllter Höhlen wie Lunge, Mittelohr, Nasennebenhöhlen oder eingeklemmter Hernien hauptsächlich bei Druckreduktion am Ende der Therapie. Bei notwendiger wiederholter Anwendung können reversible pulmonale oder zerebrale Symptome von Sauerstofftoxizität auftreten, die aber allesamt im Nutzen-Risiko-Verhältnis untergeordnet sind. Bei schwerstkranken und hoch instabilen intensivmedizinischen Patienten mit ARDS können Transport, Umlagerungen und zirkulatorische sowie respiratorische Veränderungen im Rahmen der HBO zur medizinisch-logistischen Herausforderung werden.

Indikationen für die hyperbare Oxygenierung

International anerkannte Indikationen Nach primärer Entwicklung dieser Therapieform für die erfolgreiche Rekompensation und damit kausaler Therapie von Dekompressionsunfällen bei Druckluftarbeitern (Caisson-Krankheit) und Tauchern haben sich durch die in den letzten 100 Jahren entdeckten weiteren günstigen Effekte zahlreiche vielversprechende neue Therapieindikationen eröffnet. Nach umfangreichen Versuchen zum Festlegen von Therapieschemata und Effektstärken lassen sich bestimmte Effekte erst ab gewissen Gewebssauerstoffpartialdrücken im hyperbaren Bereich hervorgerufen. Nicht medizinische Anwendungen im normobaren Bereich

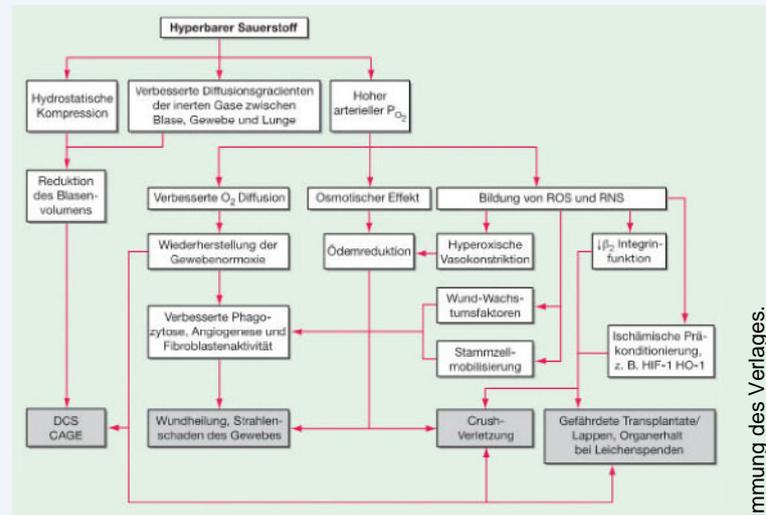


Abb. 2 Wirkungen von hyperbarem Sauerstoff (aus: Harrisons Innere Medizin, 18. Aufl. Copyright ABW Wissenschaftsverlag GmbH).

sind von der HBO klar abzugrenzen. Von der Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) wurden nach aktueller Evidenzlage 14 international anerkannte Indikationen für die HBO festgelegt. Der Gemeinsame Bundesausschuss der Ärzte und Krankenkassen (GBA) hat für 6 dieser Indikationen die aktuelle Evidenzlage einer HBO-Therapie in Deutschland nach SGB V als ausreichend, zweckmäßig und wirtschaftlich erachtet und somit als Leistung der gesetzlichen Krankenkassen festgelegt (◊ Tab. 1).

Notfallindikationen für die hyperbare Sauerstofftherapie im Rettungsdienst

Von den in ◊ Tab. 1 genannten Indikationen verbleiben lediglich 7 Notfallindikationen mit Relevanz für den Rettungsdienst, die im Folgenden in 5 Gruppen zusammengefasst werden. Die notfallmedizinische Relevanz ergibt sich dabei aus der Möglichkeit der präklinischen Diagnostik und der Dringlichkeit der Therapie. Dabei handelt es sich um:

1. Luft- oder Gasembolie und Dekompressionsunfall
2. Kohlenmonoxid-Vergiftung (CO-Vergiftung)
3. Gasbrand und schwere nekrotisierende Weichteilinfektion
4. Crush-Verletzung
5. Zentralarterienverschluss des Auges

Luft- oder Gasembolie und Dekompressionsunfall

Kasuistik Eine 20-Jährige lässt sich von ihrer Clique zu einem Gerätetauchgang in einem Alpensee überreden. Sie hat keinerlei Übung in diesem Sport. Selbst die einfachsten Sicherheitsaspekte sind ihr nicht bekannt. Genau deshalb kann sie später weder die erreichte Tauchtiefe noch die Tauchzeit angeben.

Im Lauf der folgenden 4–6h entwickelt die junge Frau heftige Kopfschmerzen, Müdigkeitsgefühl und Schleiersehen. Sie nimmt eine Kopfschmerztablette ein und geht zu Bett. Am nächsten Morgen hat

Nr.	International anerkannte Indikationen nach UHMS (2012)	Bewertung der Indikation (für Situation in Deutschland und Mitteleuropa)
1	Luft- oder Gasembolie (tauch- und flugbedingt, iatrogen, traumatisch)	Notfallindikation, kausale Therapie, GBA-anerkannt
2	CO-Vergiftung (auch inkl. kombinierter Zyanid-Vergiftung)	Notfallindikation, kausale Therapie, GBA-anerkannt
3	clostridiale Myonekrose (Gasbrand)	adjuvante Notfallindikation, GBA-anerkannt
4	Crush-Verletzung, Kompartmentsyndrom, akute traumatische Ischämie mit/ ohne Ödem	adjuvante Notfallindikation, sinnvoll zur Rettung gefährdeten Gewebes
5	Dekompensationskrankheit / -unfall	adjuvante Notfallindikation
6	ausgewählte Perfusionsstörungen: Problemwunden, Zentralarterienverschluss des Auges	adjuvante Indikation, beim diabetischen Fußsyndrom Wagner > III zur Wundheilung GBA-anerkannt
7	außergewöhnlicher Blutverlust ohne Möglichkeit der Transfusion	in Deutschland nicht praktikabel, keine sinnvolle Therapieoption
8	intrakranielle Abszesse	adjuvante Indikation
9	nekrotisierende Weichteilinfektionen (z. B. Fournier-Gangrän, Fasziiitis)	adjuvante Notfallindikation
10	therapierefraktäre Osteomyelitis	adjuvante Indikation, ggf. auch bei Osteitis und Osteonekrose
11	Bestrahlungsschäden (z. B. Strahlenzystitis, -proktitis, -osteitis)	kausale Indikation
12	kompromittierte Lappen und Transplantate	adjuvante Indikation je nach Ursache
13	Verbrennungen	adjuvante Indikation
14	idiopathischer akuter Hörsturz	in Deutschland häufige ambulante Anwendung, auch über Therapieindikation hinaus (chronisch, Tinnitus)
nicht auf UHMS-Liste	ausgewählte Tumorerkrankungen (Strahlensensibilisierung, Ödemreduktion)	adjuvante, palliative Indikation bei Neuroblastomrezidiv IV GBA-anerkannt

Tab 1. Evidenzbasierte Indikationen der Hyperbaren Sauerstofftherapie (Harrisons Innere Medizin, 18. Aufl.).

sich ihr Zustand wesentlich verschlechtert: Sie bemerkt ausgeprägte Gleichgewichtsstörungen und eine zunehmende Gangunsicherheit. Ohne Hilfe ihrer Eltern ist sie nicht mehr in der Lage, telefonisch ihren Hausarzt zu konsultieren – geschweige denn, zu ihm zu gehen.

Es ist letztlich der gewissenhaften Anamnese der Notärztin zu danken, dass die Symptomatik als dekompensationsbedingt eingeordnet wurde; nach sachgerechter hyperbarer Oxygenierung erfuhr die Patientin eine Restitutio ad integrum.

Dekompensationsunfall Typischerweise tritt heute ein Dekompensationsunfall im Rahmen des Gerätetauchens auf – also bei der Atmung von zumeist Luft mit dem darin enthaltenen Inertgas Stickstoff unter hyperbaren Umgebungsdruckbedingungen unter Wasser. Um unter Wasser überhaupt atmen zu können, muss Atemgas vom Tauchgerät mit dem Druck angeboten werden, der in der jeweiligen Tiefe herrscht. Der Druck steigt dabei proportional zur Wassertiefe je 10 m um 1 bar, d.h. um den Luftdruck an der Oberfläche auf Meeresspiegelniveau. Bei Druckerhöhung nimmt auch die Löslichkeit von Gasen im Körper zu. Das nicht am Stoffwechsel teilnehmende Inertgas reichert sich zunehmend in den Körpergeweben an und wird im Verlauf des Tauchgangs auch in schlechter durchblutete Gewebe umverteilt. Folgt nun eine zu schnelle Druckreduktion (Auftauchen) ggf. verbunden mit Löslichkeitsvolumenreduktion (Dehydrierung), wird die Löslichkeitskapazität der mit Inertgas gesättigten Gewebe überschritten. Es kommt zum Ausperlen von Gasbläschen mit Verschluss des venösen Kapillarbettschenkels und konsekutivem Gewebsödem mit Funktionsverlust und entsprechenden Symptomen.

Ein leichter Dekompensationsunfall betrifft dabei lediglich die schlechter durchbluteten Gewebe mit langsamerem Abtransport (Haut, Gelenke) und führt typischerweise zu Rötungen, Juckreiz und Schmerzen. Ein schwerer Unfall durch eine hohe Inertgaslast oder deutlich zu schnelle Druckreduktion betrifft auch die schnelleren (besser durchbluteten) Gewebe und führt zu neurologischen und pulmonalen Symptomen durch Mikroembolien, die typischerweise nicht bekannte neurologische Ausfallsmuster, sondern atypische Ausfälle zeigen.

.....
Durch Eröffnung von weiteren übersättigten Stromgebieten (heiße Dusche, Sauna) oder weitere Druckreduktion (Fliegen und Passfahrten in großer Höhe) kann eine weitere Inertgasmobilisation die typischerweise innerhalb von Stunden zunehmende Symptomatik aggravieren.

Husten, Pressen und schweres Heben kann zum Inertgasübertritt über pulmonale und kardiale Shunts führen und somit eine arterielle Gasembolie mit sofortigen typischen Ausfallsmustern verursachen – zumeist zerebral, im Rückenmark, kardial oder auch intestinal. Diese konfluierenden Makroblasen obstruieren nun den arteriellen Schenkel eines Stromgebiets, aktivieren an ihrer Grenzfläche die Entzündungs- und Gerinnungskaskade und werden im weiteren Verlauf organisiert mit nachfolgender Ischämie, Hypoxie und Insult des betroffenen Stromgebiets.

Diagnostik Bei typischer Anamnese soll die Therapie mit dem Ziel der Minimierung dauerhafter Beeinträchtigung und idealerweise

Restitutio ad integrum nicht durch Diagnostik verzögert werden, zumal Mikroembolien im Computertomogramm initial nicht sichtbar sind. Die einzige sinnvolle Diagnostik ist eine Thoraxaufnahme zum Ausschluss und ggf. Drainage eines Pneumothorax vor der kausalen HBO-Behandlung. Hier steht die sofortige Notfallbehandlung mit dem Ziel des optimalen Outcomes im Vordergrund.

Notfallbehandlung Diese besteht aus der sofortigen kontinuierlichen Gabe von 100% Sauerstoff mit dem primären Ziel der Maximierung des Inertgasdiffusionsgradienten (unabhängig von der gemessenen Sauerstoffsättigung), der Rehydrierung zur Steigerung des Löslichkeitsvolumens und dem schonenden bewegungsarmen Transport in flacher Rückenlage möglichst ohne weitere Druckreduktion (niedrigste fliegerisch vertretbare Höhe) in ein Krankenhaus mit angeschlossenem HBO-Zentrum (◉ Infobox 1). Die spezifisch tauchmedizinische Behandlung besteht in einer insgesamt rund 6-stündigen hyperbaren Sauerstofftherapie bei 2,8bar Umgebungsdruck.

Infobox 1: Präklinische und prä-HBO Behandlung von Tauchunfall und Gasembolie

- ▶ kontinuierlich 100% Sauerstoff = FiO₂ von 1,0 (ggf. Atemwegsicherung und Beatmung nach notfallmedizinischen Kriterien)
- ▶ flache Rückenlage, schonender Transport ohne weitere Druckreduktion möglichst primär in Krankenhaus mit Druckkammer, Tauchgangsdaten (Tauchcomputer) mitnehmen
- ▶ Rehydrierung mit rund 1l/h balancierter Vollelektrolytlösung

Gasembolien Gasembolien können jedoch auch im Rahmen schneller Druckreduktionen beim Fliegen auftreten, aber auch traumatisch (zumeist Lungenbarotraumata) oder vielfältig iatrogen (intravasale Injektionen mit nicht vollständig entlüfteten Systemen bei radiologischer Diagnostik, Herz-Lungen-Maschine, Dialyse, sitzende Operationen mit negativem Venendruck im OP-Gebiet, endoskopische Operationen). Die einzige und kausale Therapie mittels HBO kann hier Leben und Lebensqualität retten und sollte schnellstmöglich erfolgen.

Evidenz Die HBO bei den Indikationen Tauchunfall (Dekompressionsunfall) und Gasembolie ist seit Jahrzehnten Goldstandard. Neue Studien nach aktuellen EBM-Kriterien liegen daher nicht vor, sodass das Evidenzlevel (Einteilung nach American Heart Association) bei C eingestuft werden muss. Die GRADE-Evidenzqualität (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) ist hingegen hoch [2] (◉ Infobox 2). Der Gemeinsame Bundesausschuss der Ärzte und Krankenkassen (GBA) stellte 2003 fest, dass es bei den Indikationen Tauchunfall und Gasembolie keine Therapiealternative zur HBO gibt.

Der Therapieerfolg der HBO bei den Indikationen Gasembolie und Tauchunfall ist klar abhängig von der Latenz bis zur Therapie [3], sie sollte möglichst kleiner als 12h sein [4]. Unbehandelt führt die Gasembolie in 20% zum Tod und in 43% zu lebenslanger Behinde-

Infobox 2: Evidenzkriterien

AHA Evidenzlevel

- ▶ **A:** Daten aus mehreren randomisierten Studien oder Metaanalysen
- ▶ **B:** Daten aus einer randomisierten Studie oder großen nicht randomisierten Studien
- ▶ **C:** Daten aus Fallserien, retrospektiven Studien, Expertenmeinungen

GRADE Evidenzqualität

- ▶ **hoch:** Datenlage ist so gut, dass weitere Forschung den Behandlungseffekt wahrscheinlich nicht verändern wird.
- ▶ **moderat:** Datenlage ist so, dass weitere Forschung die Größe des Behandlungseffekts möglicherweise ändern wird.
- ▶ **niedrig:** Datenlage ist so, dass weitere Forschung die Größe des Behandlungseffekts wahrscheinlich ändern wird.
- ▶ **sehr niedrig:** Datenlage ist so schlecht, dass der vorliegende Behandlungseffekt mit deutlicher Unsicherheit behaftet ist.

rung. Dennoch wird meist auch mit größerer Latenz eine deutliche Befundverbesserung erreicht, allerdings sind dafür deutlich mehr HBO-Behandlungen notwendig.

.....
Tauchunfall und Gasembolie, gleich welcher Ursache, sind Indikationen zur sofortigen Verlegung an ein Krankenhaus mit angeschlossenem Druckkammerzentrum.

Transport Sollten die Vitalfunktionen für den primären Transport zu instabil sein oder das entsprechende Transportmittel noch nicht verfügbar, so sollte der Patient unter kontinuierlicher Atmung von 100% Sauerstoff solange intensivmedizinisch betreut werden, bis er möglichst zeitnah sekundär mittels Intensivtransport verlegt werden kann [5].

Kohlenmonoxid-Vergiftung

Kasuistik „Bewusstlose Person an einem Ski-Lift“ – so der Einsatzbefehl für den RTH. Bei Eintreffen vor Ort ist der Patient (es handelt sich um einen Angestellten des Ski-Lift-Betriebs) bereits in die Gerätehalle der Talstation gebracht worden. Das Notarzt-Team findet dort einen sehr blassen 57-jährigen Mann in stabiler Seitenlage vor. Nach Angaben von Mitarbeitern sei der Patient an der Lift-Station bewusstlos zusammengebrochen, nachdem er eine etwa 4-stündige Ausfahrt mit einer Pistenraupe zur Präparierung von Langlauf-Loipen beendet hatte.

Die orientierende Untersuchung ergibt folgendes Bild: Der Patient öffnet auf Ansprache die Augen und zeigt eine gezielte motorische Reaktion; die verbale Antwort wechselt zwischen orientiert und verwirrt, sodass sich nach der Glasgow Coma Scale eine Punktzahl von 13–14 errechnen lässt. Der Mann klagt über starke Übelkeit und erbricht 1-mal. Seine Umgebung könne er nur schemenhaft wahrnehmen. Auffällig ist eine Tachypnoe bei einem pulsoxymetrisch er-

mittelten SaO_2 -Wert von 95% unter Zufuhr von $4\text{ l O}_2/\text{min}$ über die Nasensonde. Die Herz-Kreislauf-Verhältnisse sind unauffällig, der mittels Teststreifen ermittelte Blutzuckerwert ist im Normalbereich.

Eine gezielte Befragung der anwesenden Ehefrau des Patienten bezüglich seiner Vorerkrankungen ergibt lediglich den Verdacht auf eine bestehende koronare Herzkrankheit. Angesichts der recht unklaren Symptomatik bringt erst eine nochmalige eingehende Befragung des Patienten zu den Ereignissen den entscheidenden diagnostischen Hinweis: Er habe, so sagt der Mann nun, den Eindruck gehabt, in der geschlossenen Fahrerkabine seiner Pistenraupe den Geruch von Auspuffgasen wahrgenommen zu haben. Daher wird der dringende Verdacht auf eine akute CO-Intoxikation geäußert.

Dies bestätigt der bei Klinikaufnahme ermittelte CO-Hb-Wert von 24,1%. Der Patient wird daraufhin (neurologische Symptomatik!) der hyperbaren Oxygenation zugeführt (1,5 h Dauer bei einem Gesamtdruck von 3 bar). Danach beträgt der CO-Hb-Wert nur noch 4,5%. Ein vor Therapiebeginn im EKG sichtbarer AV-Block I. Grades ist nach HBO nicht mehr nachweisbar. Der neurologische Befund ist vollständig normalisiert, sodass der Mann am folgenden Morgen auf die neurologische Normalstation verlegt werden kann. Auch dort finden sich keine Restschäden.

Blockade der zellulären Atmungskette In Deutschland treten durch unvollständige Verbrennung in Feuerquellen mit unzureichender Belüftung mehr als 4000 CO-Vergiftungen pro Jahr auf, davon rund 15% mit tödlichem Ausgang. Kohlenmonoxid ist ein farb- und geruchloses Gas, dessen Affinität zu Hämoglobin rund 200-mal höher als die von Sauerstoff ist und nicht nur durch Bindung den Sauerstofftransport, sondern auch durch Linksverschiebung der Bindungskurve die Sauerstoffabgabe im Gewebe verhindert. Bei Einatmung reichert sich CO aufgrund der Bindung an Hämoglobin und Myoglobin schnell im Körper an und führt zur Blockade der zellulären Atmungskette durch Cytochrombindung in den Mitochondrien. Dies führt zur typischen – bei nicht bewusstlosen Opfern – meist noch respiratorisch kompensierten – metabolischen Azidose mit Laktatanstieg.

Symptome Der zelluläre Sauerstoffmangel führt insbesondere in Organen mit geringer Hypoxietoleranz, wie Herz und Hirn, zur Symptomatik und auch zum Zelluntergang mit Enzymfreisetzung und EKG-Veränderung (Ischämiezeichen bis hin zum Infarkt). Die klinische Symptomatik korreliert dabei leider nicht mit dem gemessenen CO-Hb-Spiegel, der inzwischen präklinisch mit speziellen Mehrwellenlängen-Pulsoxymetern zuverlässig messbar ist.

.....
Identische CO-Hb-Spiegel können bei einem Opfer leichte Kopfschmerzen auslösen, bei einem anderen bereits einen Kreislauf-Stillstand hervorrufen.

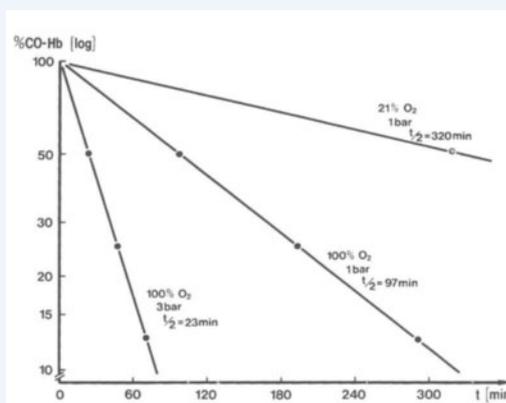


Abb. 3 Unterschiedliche Halbwertszeiten der CO-Hb-Elimination in Abhängigkeit von FiO_2 und Umgebungsdruck (aus: Der Notarzt 1991; 7:190).

Prodromi wie Kopfschmerzen, psychiatrische Veränderungen, neurologische Ausfälle und kardiale Ischämiesymptome können sich ebenso unzuverlässig vor dem im Verlauf eintretenden Bewusstseinsverlust zeigen. Eine Bewusstlosigkeit wie auch die Notwendigkeit einer Reanimation haben oft ein v.a. neurologisch sehr schlechtes Outcome zur Folge.

.....
Die typische kirschrote Hautfarbe tritt – wenn überhaupt – erst post mortem auf und imponiert eher als untypisch rosige Leichenfärbung.

Im Langzeitverlauf treten Jahre nach stattgehabter CO-Intoxikation sowohl vermehrt neurologische und psychiatrische Störungen, wie periphere Neuropathien, Gleichgewichtsstörungen, demenzielle und parkinsonoide Syndrome, als auch kardiale Spätschäden, z.B. Herzinsuffizienz auf.

HBO-Behandlung Die Halbwertszeit von CO-Hb beträgt unter Raumluftatmung 320 min, unter 100% normobarem Sauerstoff 97 min und unter hyperbarer Oxygenation bei 3 bar lediglich 23 min (Abb. 3). Der isoliert betrachtete CO-Hb-Gehalt sagt allerdings nur etwas über die momentane Beladung des Transporters aus, nicht über den Grad der Bindung durch Anreicherung in den bevorzugten Endorganen. Die Rationale der hyperbaren Sauerstofftherapie bei der CO-Intoxikation besteht in der hämoglobinunabhängigen physikalischen Gewebsoxygenierung und in der kompetitiven Verdrängung des CO aus der Cytochrombindung in den Mitochondrien, was den aeroben Stoffwechsel wieder ermöglicht und somit Folgeschäden minimiert.

Evidenz Der GBA hat die HBO bei der CO-Intoxikation 2003 als kausale Therapie und Leistung der gesetzlichen Krankenkassen anerkannt. In aktuellen Untersuchungen [6, 7] gibt es unterschiedliche, z.T. widersprüchliche Ergebnisse zur Frage, welche Patienten wann und mit welchen Therapieschemata einer HBO zugeführt werden sollten. Insgesamt basiert die HBO bei der Indikation CO-Intoxikation auf einem Evidenzlevel A bei einer sehr niedrigen

GRADE-Evidenzqualität [2]. Ein hohes Risiko neurologischer Spätschäden haben insbesondere Feten, Patienten mit starker Exposition und deutlicher Symptomatik. Daher sollten Patienten mit neurologischer Symptomatik, Bewusstseinsstörung, kardialer Ischämie, metabolischer Azidose und Schwangere unabhängig vom CO-Spiegel einer HBO zugeführt werden, asymptomatische Patienten spätestens ab einem jemals gemessenen CO-Hb-Spiegel von 25%.

.....
Symptomatische Patienten mit CO-Intoxikation sowie asymptomatische Schwangere und Personen mit nachweislich starker Exposition sollten umgehend unter kontinuierlicher Atmung von 100 % Sauerstoff – wenn möglich unter kontinuierlicher nicht invasiver Beatmung – in ein Krankenhaus mit angeschlossenem Druckkammerzentrum eingewiesen werden.

Gasbrand und schwere nekrotisierende Weichteilinfektion

Ursachen Fulminant verlaufende Infektionen mit u.U. gasbildenden Nekrosen und rasch fortschreitender Demarkation des betroffenen Areals entstehen oft bei vorbestehender Mikrozirkulationsstörung und entsprechend hypoxisch-anaerobem Milieu mit eingeschränkter Immunabwehr. Sie lassen zumeist keine Zeit für ein Abwarten der mikrobiologischen Diagnostik und entsprechende konservative Therapie.

HBO-Behandlung Lebens- und idealerweise extremitätenrettend sind hier radikales chirurgisches Debridement, breite kombinierte Antibiose und maximale Intensivtherapie. Bei Anaerobiern und v.a. Clostridien wirkt ein Gewebssauerstoffpartialdruck (ptO₂) von > 70 mmHg zudem bakteriostatisch, das Clostridientoxin wird bei ptO₂ > 250 mmHg inaktiviert. Zusammen mit den beschriebenen physiologischen Wirkungen, wie Ödemreduktion, Antagonisierung der septischen Mikrozirkulationsstörung und dem zellulären antibiotikapotenzierenden Effekt der HBO kann diese Therapie v.a. bei solchen Infektionen im Rahmen eines multimodalen Konzepts wirksam eingesetzt werden. Mortalitäts- und Amputationsraten lassen sich bei zeitgerechtem und kombinierten Einsatz der HBO in der Therapiesequenz aus den 4 genannten Säulen im Vergleich zur Standardtherapie halbieren [8, 9].

Diese beeindruckenden Ergebnisse können allerdings nicht immer erreicht werden: Viele Patienten sind nach der Diagnose einer schweren nekrotisierenden Weichteilinfektion nicht mehr transportfähig und sterben vor Greifen einer aggressiven Kombinationstherapie im septischen Multiorganversagen. Andere nicht clostridiale nekrotisierende Weichteilinfektionen verlaufen protrahiert und basieren auf einer weniger aggressiven Mischflora, sodass die HBO bei protrahierten Infektionen eher zur Förderung der Wundheilung ein sinnvolles Adjuvans darstellt.

Am besten profitieren von der HBO also fulminant verlaufende nekrotisierende Weichteilinfektionen mit zumeist positivem Nutzen-Risiko-Verhältnis auch eines primär langen Transports in ein

Druckkammerzentrum – gerade weil das Zeitfenster zwischen Diagnosestellung und im septischen Schock bei nicht mehr gegebener Transportfähigkeit zumeist sehr eng ist. Sekundär scheint der ideale Transportzeitpunkt sofort nach dem ersten Debridement mit chirurgisch-makroskopischer Diagnose zu sein.

Evidenz Der GBA hat 2006 die adjuvante HBO bei der Indikation clostridiale Myonekrose als Leistung der gesetzlichen Krankenkassen anerkannt, die Gesamtgruppe der nekrotisierenden Weichteilinfektionen aufgrund zu heterogener Verläufe und entsprechender Studienlage nicht weiter behandelt. Tatsächlich besteht eine sehr niedrige GRADE Evidenzqualität, jedoch auf einem Evidenzlevel B bei z.T. sehr großen Effektstärken der HBO in einzelnen Studien [2]. In der Praxis kann die mikroskopische Diagnosesicherung jedoch nicht abgewartet werden und in vielen Fällen bleibt auch im Nachgang ein mikrobiologischer Keimnachweis aus. Daher muss die klinische Verdachtsdiagnose Gasbrand bei allen fulminanten Weichteilinfektionen mit – oder primär auch noch ohne – Gasbildung gestellt und entsprechend therapiert werden.

.....
Patienten mit vermutetem Gasbrand bzw. einer fulminanten nekrotisierenden Weichteilinfektion sollten spätestens bei Beginn eines septischen Schocks primär in eine Klinik mit einem angeschlossenem Druckkammerzentrum eingewiesen werden. Eine Sekundärverletzung sollte frühestmöglich bei noch erhaltener Transportfähigkeit nach dem ersten großflächigen Debridement und begonnener Breitbandantibiose erfolgen.

Crush-Verletzung

HBO-Behandlung Die verschiedenen beschriebenen Wirkungen der HBO auf die Mikrozirkulation eignen sich v.a. bei großen traumatisch bedingten Weichteildefekten mit Folgeschäden (durch Ödem, Kompartment und hypoxischem Zelluntergang) zur Minimierung von Defekten, Funktionsverlust von Extremitäten, Folgeschäden von Traumata und entsprechenden Auswirkungen auf die Arbeitsfähigkeit [10]. Bei diesen sog. Crush-Verletzungen können durch tägliche adjuvante HBO das konsekutive Ödem deutlich reduziert, die Wundheilung verbessert sowie das Ausmaß von Infektionen und chirurgischen Interventionen deutlich verringert werden. Zahlreiche Studien beschreiben für spezielle Verletzungsarten aus diesem Formenkreis teilweise beeindruckende Ergebnisse der adjuvanten HBO.

Uneinheitliche Studienlage Erwartungsgemäß sind durch unterschiedliche Verletzungsmuster und unterschiedliche Versorgungsstrategien die zu erreichenden Fallzahlen zur statistisch validen Berechnung von Gruppenunterschieden gering. Eine vor Jahren aufgelegte weltweite Multicenterstudie zum Einfluss von HBO auf Unterschenkeltraumata (Hyperbaric Oxygen in Lower Limb Trauma – HOLLT) hat aufgrund der notwendigen strengen Einschlusskriterien noch immer nicht die entsprechenden Fallzahlen erreicht. Bei vielversprechenden Effekten in kleinen Studien erreicht die HBO

bei Crush-Verletzungen momentan das Evidenzlevel B mit niedriger GRADE Evidenzqualität [2]. Aufgrund der heterogenen Studienlage ist die Indikation vom GBA nicht anerkannt.

Bei kompliziertem Verlauf Wenn Crush-Verletzungen nicht durch proximale Durchblutungsstörungen, sondern durch einen komplizierten Verlauf bei massivem Weichteildefekt und Infektion den Erhalt der Extremität gefährden, ist eine frühzeitige Sekundärverlegung in ein Krankenhaus mit angeschlossenem Druckkammerzentrum und plastischer Chirurgie mit dem Ziel der Extremitätenrettung indiziert.

Bei kompliziertem Verlauf sollten Patienten mit Crush-Verletzungen frühzeitig sekundär in ein Krankenhaus mit angeschlossenem Druckkammerzentrum und plastischer Chirurgie verlegt werden, um Extremitäten zu retten und eine maximal mögliche Funktion zu erhalten. Die primäre Einweisung vom Unfallort sollte zur initialen Stabilisierung des Patienten (Life before Limb) in das nächstgelegene geeignete Krankenhaus innerhalb der Reichweite des Rettungsmittels erfolgen.

Zentralarterienverschluss des Auges

Sofortiges Erblinden Der Zentralarterienverschluss des Auges durch eine arterielle Thrombose bzw. Embolie bei entsprechenden Risikofaktoren führt zur sofortigen schmerzfreien Erblindung des betroffenen Auges und betrifft jährlich knapp einen Patienten von 100 000 Einwohnern. Die Prognose ist extrem schlecht, da die Retina einen sehr hohen Sauerstoffverbrauch aufweist und lediglich durch Diffusion ernährt wird. Nur 8% der Patienten erreichen nach stattgehabtem Zentralarterienverschluss einen Visus von lediglich 0,1 – der Rest von 92% bleibt dauerhaft blind. Eine Lyse führt in 35% der Fälle noch zu einer gewissen Reversibilität – und das auch nur innerhalb eines Zeitfensters von 24 h [11].



Abb. 4 Intensivpatient (intubiert, differenzierte Beatmung, invasives Monitoring) während Kammerbehandlung (aus: *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2009; 44: 578–586).

HBO-Behandlung Die HBO kann hier zusammen mit einer frühzeitigen Lyse durch ihre massive Gewebsoxygenierung beeindruckende Erfolge verzeichnen. So kommt es in rund zwei Drittel der Fälle zu einer objektivierbaren Visusverbesserung durch die HBO [12]. Diese Ergebnisse zeigen sich aber nur innerhalb eines Zeitfensters (Erblindung bis HBO) von maximal 12 h. Es lässt sich mit dieser Therapie auch keine komplette Restitutio ad integrum erzielen, was wahrscheinlich auch auf den bereits begonnenen Zelluntergang schon innerhalb geringer zeitlicher Latenz zurückzuführen ist. Das verfügbare Zeitfenster zur Rettung des Auges ist hier sehr kurz und dürfte in vielen Fällen nicht einmal zur Diagnosestellung ausreichen.

Evidenz Erwartungsgemäß ist unter diesen Voraussetzungen bei beeindruckend hohem Evidenzlevel B die GRADE Evidenzqualität sehr niedrig [2]. Eine Anerkennung durch den GBA ist für diese HBO-Indikation nicht erfolgt.

Ein Patient mit Zentralarterienverschluss ist zur Rettung des Auges bei gesicherter Diagnose schnellstmöglich sekundär in ein Krankenhaus mit angeschlossenem Druckkammerzentrum zu verlegen, wenn ein Zeitfenster vom Beginn der Symptomatik bis zum Beginn der HBO von weniger als 12 h eingehalten werden kann und eine Lysetherapie bereits begonnen oder kontraindiziert wurde. Auf dem Transport sollte eine Atmung mit 100% Sauerstoff erfolgen.

Auswahl des HBO-Zentrums

Deutschland ist nicht flächendeckend mit Therapiedruckkammern (Abb. 4) ausgestattet – meist jedoch befindet sich das nächste HBO-Zentrum im Bereich einer Hubschrauberreichweite oder einer 2-stündigen Fahrt mit einem bodengebundenen Rettungsmittel. Allerdings ist nicht jedes Druckkammerzentrum zur Behandlung aller hier dargestellten Notfallindikationen gerüstet. Intensivmedizin einschließlich maschineller Beatmung in der Druckkammer sowie Zugriff auf klinische Intensivbetten muss für viele Patienten mit den genannten Indikationen rund um die Uhr möglich sein. Die deutsche Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.) führt auf ihrer Website (www.gtuem.org) HBO-Zentren in Deutschland, Österreich und der Schweiz in 4 abgestuften Versorgungslisten auf. Je nach Indikation und Erfordernissen des Patienten können hier die nächstmöglichen geeigneten HBO-Zentren ausgewählt werden. Welches Zentrum zum aktuellen Zeitpunkt tatsächlich aufnahmebereit ist, hängt von vielen Faktoren ab, wie z.B. laufende HBO-Therapie, Verfügbarkeit eines Intensivbetts und ggf. auch Flugwetter.

Die Prüfung dieser Faktoren und Organisation der Verlegung kann zumeist unkompliziert bei der lokalen Leitstelle in Auftrag gegeben werden, da seit 2014 die Möglichkeit einer deutschlandweiten zentralen HBO-Platz-Vergabe eingerichtet ist: Die jeweilige Leitstelle fragt bei der Leitstelle Wiesbaden an, welches nächstgelegene HBO-Zentrum mit den notwendigen Spezifikationen aufnahmebereit ist.

Anhand eines elektronischen Ampelsystems ersieht die Leitstelle Wiesbaden die Verfügbarkeit der Zentren und stellt den Kontakt zum nächstverfügbaren her. Nach dem Arzt-Arzt-Gespräch kann man dann wiederum über die lokale Leitstelle das entsprechende Transportmittel anfordern, oder – bei einem Primärtransport – die entsprechende Klinik mit angeschlossenem HBO-Zentrum nach Anmeldung und unter Beachtung der jeweiligen Vorwarnzeit (Zeit von Anmeldung bis zur Einsatzbereitschaft, zumeist 30–60 min) direkt angesteuert werden.

Kernaussagen

- ▶ Notfallmedizinisch relevante Indikationen zur hyperbaren Sauerstofftherapie führen zu Primär- und Sekundärverlegungen an Krankenhäuser mit angeschlossenen Druckkammerzentren und der Möglichkeit oft notwendiger Intensivmedizin in der Druckkammer. Diese Indikationen sind Patienten mit Tauchunfall, Gasembolien jeglicher Ursache, Kohlenmonoxidintoxikationen und Zentralarterienverschlüssen sowie nekrotisierenden Weichteilinfektionen oder massiven Weichteiltraumata.
- ▶ Während die erstgenannten Patientengruppen aus verschiedenen Gründen eine kontinuierliche Atmung von 100% Sauerstoff auf dem Transport unabhängig von ihrer pulsoxymetrisch gemessenen SpO₂ benötigen, sind Patienten mit nekrotisierenden Weichteilinfektionen oder Weichteiltraumata oft hochgradig instabil und benötigen aufwändige Intensivtransporte in ein geeignetes HBO-Zentrum.
- ▶ Das frühzeitige Prüfen der Möglichkeit einer adjuvanten HBO und die Verlegung zum richtigen Zeitpunkt können bei diesen Indikationen in vielen Fällen Tod oder dauerhafte Behinderung vermeiden.

Danksagung

Herzlichen Dank an Prof. Lorenz Lampl, BWK Ulm, für die kritische Durchsicht und wertvollen Ergänzungen.

Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht

Literatur

- 1 Fichtner A, Bucher M. Hyperbarmedizin und Tauchmedizin. In: Dietel M, Suttorp N, Zeitz M, Hrsg. *Harrisons Innere Medizin*. 18. Aufl. Berlin: ABW; 2012
- 2 Jüttner B, Tetzlaff K. Hyperbare Therapie und Tauchmedizin. *AINS* 2015; 50: 618–635
- 3 Stipp W. *Time to treatment for Decompression Illness. Research Report 550 for Health and Safety Executive 2007*, Norfolk, UK
- 4 Bessereau J, Genotelle N, Chabbaut C et al. Long-term outcome of iatrogenic gas embolism. *Intensive Care Med* 2010; 36:1180–1187. DOI 10.1007/s00134-010-1821-9
- 5 Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V. (GTÜM). *S2k-Leitlinie Tauchunfall*. AWMF-Nr. 072-001
- 6 Weaver LK, Hopkins RO, Chan KJ et al. Hyperbaric oxygen for acute carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med* 2002; 347: 1057–1067
- 7 Annane D, Chadda K, Gajdos P et al. Hyperbaric oxygen therapy for acute domestic carbon monoxide poisoning: two randomized controlled trials. *Intensive Care Med* 2011; 37: 486–492
- 8 Bakker DJ. *Selected Aerobic and Anaerobic Soft Tissue Infections*. In: *Hyperbaric Surgery*. BPC USA; 2002
- 9 Schmale M, Fichtner A, Pohl C et al. Hyperbare Oxygenation bei Nekrotisierenden Weichteilinfektionen – Pro. *Der Chirurg* 2012; 83: 973–979
- 10 Schöppenthau H, Kemmer A, Trapp O. HBO bei Crush-Verletzungen und anderen akuten traumatischen Ischämien. *Trauma Berufskrankh* 2004; 6: 21–30
- 11 Mirshahi A, Feltgen N, Hansen L et al. Retinal Vascular Occlusions. *Dtsch Arztebl Int* 2008; 105: 474–479. DOI: 10.3238/arztebl.2008.0474
- 12 Weinberger AW, Siekmann UP, Wolf S et al: Treatment of Acute Central Retinal Artery Occlusion (CRAO) by Hyperbaric Oxygenation Therapy (HBO) - Pilot study with 21 patients. *Klin Monbl Augenheilkd* 2002; 219: 728–734

CME.thieme.de

CME-Teilnahme

- ▶ Viel Erfolg bei Ihrer CME-Teilnahme unter <http://cme.thieme.de>.
- ▶ Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für eine CME-Teilnahme verfügbar.
- ▶ Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, unter <http://cme.thieme.de/hilfe> finden Sie eine ausführliche Anleitung.



CME-Fragen **Druckkammerindikationen in der präklinischen Notfallmedizin**

1 Welche Aussage ist richtig? Erstmaßnahmen bei Dekompressionsunfall und Gasembolie sind ...

- a) Kopftieflage und Flüssigkeitsrestriktion.
- b) schonender Transport und niedrigstmögliche Sauerstoffkonzentration.
- c) aktive Erwärmung und orale Flüssigkeitstherapie.
- d) Lysetherapie und ggf. Katheterintervention.
- e) 100% Sauerstoff und intravenöse Flüssigkeitstherapie.

2 Welche Aussage ist korrekt? Die hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) ...

- a) ist ein komplementärmedizinisches Verfahren ohne Evidenz.
- b) kann bei Therapiebeginn zu Barotrauma mit Pneumothorax führen.
- c) entfaltet weit über die Therapiedauer hinaus biochemische Effekte.
- d) zeigt regelmäßig schwere Nebenwirkungen von Sauerstofftoxizität.
- e) hat 17 international anerkannte, evidenzbelegte Indikationen.

3 Welche Aussage stimmt? Bei tauchbedingten, traumatischen und iatrogenen Gasembolien ...

- a) kann eine Restitutio ad integrum – im Gegensatz zu thrombotischen Embolien – auch noch mit größerer Latenz bis zur HBO-Therapie erreicht werden.
- b) ist – anders als beim Dekompressionsunfall – mit untypischen neurologischen Ausfallsmustern zu rechnen.
- c) entwickelt sich die klinische Symptomatik im Vergleich zum Dekompressionsunfall mit zeitlicher Latenz.
- d) besteht die primäre Symptomatik in kutanen und muskuloskelettalen Beschwerden.
- e) kann ein Gasblasenübertritt aus dem venösen System nur durch eine pathologische Shuntverbindung geschehen, wie z. B. durch ein persistierendes Foramen ovale.

4 Welche Aussage ist richtig? Die Kohlenmonoxidintoxikation ...

- a) führt zu einer klinischen Symptomatik in enger Korrelation zum CO-Hb-Spiegel.
- b) sollte durch klinische Beobachtung und antiobstruktive Therapie behandelt werden.
- c) ist bei abfallendem CO-Hb-Spiegel und regredienter Symptomatik ausreichend therapiert.
- d) sollte bei klinischer Symptomatik, v. a. wegen neurologischer und kardialer Spätschäden, einer HBO-Therapie zugeführt werden.
- e) sollte in der Schwangerschaft nicht mittels HBO therapiert werden.

5 Was kann sich typischerweise in der Akutphase einer Kohlenmonoxidintoxikation mit klinischer Symptomatik zeigen?

- a) Leberenzymanstieg
- b) ST-Elevation im EKG
- c) respiratorische Azidose
- d) metabolische Alkalose
- e) kirschrote Hautfarbe

Achtung: Bei diesem CME-Beitrag sind die richtigen Antworten fett gedruckt worden, sodass der Beitrag nicht als CME-Modul zur Verfügung stehen kann. Wir bedauern dies und bitten um Ihr Verständnis. Ihre Redaktion

6 Welche Aussage ist richtig? Für die Diagnose und Therapie des Gasbrandes gilt:

- a) Die Diagnose wird mikrobiologisch gestellt und bis zur Bestätigung antibiotisch kalkuliert als Staphylokokkeninfektion behandelt.
- b) Die Verdachtsdiagnose wird klinisch gestellt und aggressiv möglichst mit chirurgischer Nekrektomie, maximaler Intensivtherapie, Kombinationsantibiose und HBO behandelt.
- c) Die HBO sollte erst zum Einsatz kommen, wenn anderweitig keine Heilung zu erzielen ist.
- d) Der Gasbrand ist eine aerobe Infektion von zumeist gut durchblutetem Gewebe.
- e) Der Benefit der adjuvanten HBO beim Gasbrand ist gering, die intensivmedizinische Stabilisierung steht deutlich im Vordergrund.

7 Welche Aussage zur Crush-Verletzung ist korrekt?

- a) Patienten mit einer Crush-Verletzung sollten vom Unfallort primär in das nächste Druckkammerzentrum gebracht werden.
- b) Die Crush-Verletzung ist vom Gemeinsamen Bundesausschuss als Indikation für die HBO zu Lasten der gesetzlichen Krankenversicherung anerkannt.
- c) Eine Crush-Verletzung lässt sich zumeist nur durch Amputation sinnvoll behandeln.
- d) Die Crush-Verletzung ist bei kompliziertem Verlauf eine vielversprechende Indikation für die HBO-Therapie.
- e) Eine Crush-Verletzung ist aufgrund ihrer Homogenität gut mittels Studien vergleichbar.

8 Welche Aussage stimmt? Der Zentralarterienverschluss des Auges ...

- a) hat eine primär gute Prognose.
- b) ist sekundär bei kompliziertem Verlauf mittels HBO zu behandeln.
- c) sollte möglichst sofort mittels HBO behandelt werden.
- d) darf nicht lysiert werden.
- e) ist aufgrund weiterer Verschlechterung nicht mit Sauerstoff zu therapieren.

9 Welche Aussage ist korrekt? Die Druckkammerzentren in Deutschland ...

- a) sind alle an Intensivstationen angeschlossen und können Intensivmedizin in der Kammer gewährleisten.
- b) können rund um die Uhr direkt primär angefahren werden.
- c) müssen bei Bedarf einzeln angefragt werden, da eine zentrale Platzvergabe nicht existiert.
- d) sind hauptsächlich für Tauchunfälle ausgelegt.
- e) können nach Voranmeldung über die Leitstelle abhängig von der Patientenspezifikation zugewiesen werden.

10 Welche Aussage ist richtig? Die hyperbare Sauerstofftherapie bei Dekompressionsunfall und arteriellen Gasembolien jeglicher und v. a. iatrogenen Ursache ...

- a) ist die einzige und kausale Therapie und sollte daher so schnell wie möglich erfolgen.
- b) kann erwogen werden, wenn konservative Maßnahmen nicht zum Erfolg führen.
- c) ist als Therapieform in Deutschland nicht vom GBA anerkannt.
- d) ist aufgrund der zu erwartenden Sauerstofftoxizität nebenwirkungsreich.
- e) kann nicht zu einer kompletten Restitutio ad integrum führen.