

**B. Jüttner¹ · C. Wölfel² · H. Liedtke³ · K. Meyne⁴ · H. Werr⁵ · T. Bräuer⁶ ·
M. Kemmerer⁷ · G. Schmeißer⁸ · T. Piepho⁹ · O. Müller¹⁰ · H. Schöppenthau¹¹**

¹ Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland

² Anästhesie/Schmerztherapie, SRO Spital Langenthal, Langenthal, Schweiz

³ Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie,
Krankenhaus St. Elisabeth und St. Barbara, Halle, Deutschland

⁴ Verband Deutscher Sporttaucher e. V., Goslar, Deutschland

⁵ Schifffahrtmedizinisches Institut der Marine, Kronshagen, Deutschland

⁶ Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), Neumünster, Deutschland

⁷ Druckkammerzentren RMT GmbH, Wiesbaden, Deutschland

⁸ Institut für Arbeit und Gesundheit der DGUV, Deutsche Gesellschaft für
Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), Dresden, Deutschland

⁹ Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
Mainz, Deutschland

¹⁰ Vivantes-Klinikum Friedrichshain, Zentrum für hyperbare Sauerstofftherapie und Tauchmedizin,
Berlin, Deutschland

¹¹ Abteilung für Anästhesie und anästhesiologische Intensivmedizin, Druckkammerzentrum-HBO,
Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Murnau, Murnau am Staffelsee, Deutschland

Diagnostik und Behandlung von Tauchunfällen

Neue „Leitlinie Tauchunfall 2014–2017“

Zusatzmaterial online

Dieser Beitrag enthält die vollständige „Leitlinie Tauchunfall 2014–2017“ sowie den Leitlinienreport zu der methodischen Vorgehensweise bei der Entwicklung der Leitlinie. Dieses Supplementary Material finden Sie unter DOI 10.1007/s00101-015-0033-7.

Einführung

Die Leitlinie Tauchunfall wurde nach der ersten Veröffentlichung 2002 für den nächsten Gültigkeitszeitraum von 2014 bis Oktober 2017 von einer Expertengruppe überarbeitet und aktualisiert. Die Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) als federführende Fachgesellschaft konstituierte hierzu eine Leitlinien-gruppe unter Beteiligung der Schweizerischen Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin (SUHMS), der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI), Sektion Hyperbarmedizin, des Verbands

Deutscher Sporttaucher e. V. (VDST), des Schifffahrtmedizinischen Instituts der Marine, der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), des Verbands Deutscher Druckkammerzentren (VDD) und der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM).

Die Leitlinie wurde auf der Basis einer strukturierten Konsensfindung (Entwicklungsstufe S2k) unter der methodischen Begleitung der AWMF – Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften erstellt [1].

Die „Leitlinie Tauchunfall 2014–2017“ soll eine Hilfe für medizinische Entscheidungsprozesse im Rahmen einer leistungsfähigen Versorgung der Patienten darstellen. Basierend auf den Prinzipien der Rettungskette gibt sie Laien, medizinischem Assistenzpersonal und Ärzten in einem spezifischen Notfallbereich Informationen und Instruktionen über den aktuellen Stand der Diagnostik und der Behandlung von Tauchunfällen, den Transport verunfallter Taucher, die erste hyper-

barmedinische Therapie und die weitere medizinische Versorgung. Die Zielsetzung, u. a. dem Laien notfallmedizinische Empfehlungen darzustellen, bedingt die dementsprechend verständlichen Formulierungen.

Die Strukturierung der Leitlinie wurde an den Versorgungsablauf von Tauchunfällen angepasst.

Infobox 1 Taucherärztliche Telefonberatungen

- Nationale DAN-Hotline für Deutschland und Österreich: 00800 326 668 783 (00800 DAN NOTRUF)
- Nationale DAN-Hotline für die Schweiz (via REGA): +41 333 333 333 (oder 1414 für Anrufe innerhalb der Schweiz)
- VDST-Hotline: +49 69 800 88 616
- Ansprechstelle des Schifffahrtmedizinischen Instituts der Marine: +49 431 5409 1441
- Taucherhotline von aqua med: +49 700 34835463
- Internationale DAN-Hotline: +39 06 4211 8685 oder 5685

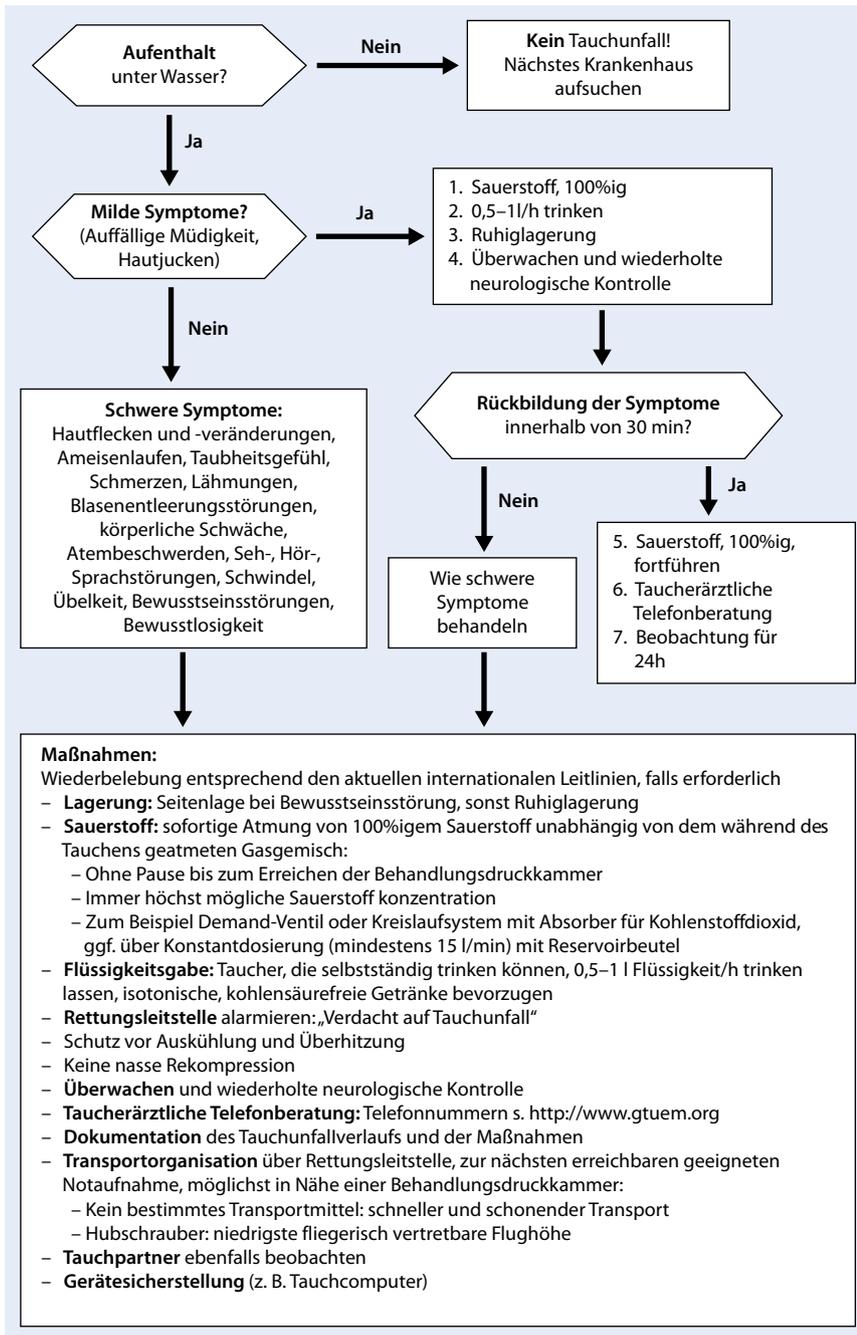


Abb. 1 ▲ Primärversorgung bei Tauchunfällen

Diagnostik

Die bisherige Klassifizierung des Schweregrads von Tauchunfällen in milde Symptome (Fatigue, Hautjucken) und schwere Symptome wurde beibehalten. Dies obwohl international regelhaft schmerzhafteste Extremitäten, Hautveränderungen, lokale Schwellungen und geringgradige periphere sensorische Störungen ebenfalls den milden Symptomen zugeordnet wer-

den [2, 3]. Die internationale Klassifizierung beinhaltet nach Einschätzung der Autoren der Leitlinie das Risiko der präklinischen Fehleinschätzung und unzureichenden Therapie [4, 5]. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) die einzige etablierte Behandlung ist, die neurologische Spätschäden vermeiden kann [6].

Zur Erkennung und zur Beurteilung neurologischer Komplikationen soll in

der Erstversorgung eine frühzeitige und wiederholte neurologische Untersuchung durchgeführt werden, um eine notwendige Rekompresseionsbehandlung nicht ungerechtfertigt auszuschließen. Im Hinblick auf die Anwendung durch Laien wurde der „5-Minuten-Neurocheck“ in den Anlagen der Leitlinie beibehalten. Eine Therapieentscheidung sollte grundsätzlich in Abstimmung mit einem erfahrenen Tauchmediziner getroffen werden (Infobox 1).

Die Diagnose einer Dekompresseionserkrankung kann nur klinisch gestellt werden. Eine bildgebende oder laborchemische Diagnostik ist routinemäßig vor einer HBO nicht erforderlich. Die Überwachung und das Monitoring erfolgen nach den grundsätzlichen Verfahren notfallmedizinischer Standards. Eine weitergehende bildgebende Diagnostik kann zur Differenzialdiagnose von Begleiterkrankungen oder Einschätzung weiterer Verletzungen, wie Pneumothorax, pulmonale Schädigung nach Ertrinkungsunfall oder zentralnervöse Ischämien, sinnvoll sein, wenn dies ohne relevanten Zeitverlust möglich ist [7].

Für die Diagnose eines Pneumothorax wurde die thorakale Sonographie als Untersuchungsmethode in der Leitlinie neu aufgeführt.

Eine weitere radiologische Diagnostik nach der ersten oder weiteren Rekompresseionsbehandlungen soll nur bei entsprechender klinischer Symptomatik durchgeführt werden. Der direkte Nachweis von Gasblasen ist ohnehin nur selten möglich und ohne prognostische Bedeutung. Diesbezüglich war die Magnetresonanztomographie bisher der Computertomographie für den Nachweis von Schädigungen des Rückenmarks bei Dekompresseionserkrankungen nicht überlegen [8].

Für die Befunddokumentation und die Verlaufsbeurteilung erscheinen neben der fachneurologischen Untersuchung v. a. Verfahren der neurologischen Elektrophysiologie geeignet (z. B. Nervenleitgeschwindigkeit, evozierte Potenziale).

Primärversorgung

Die präklinische Behandlung orientiert sich grundsätzlich an den symptomorientierten notfallmedizinischen Standards.

Wesentliche Bedeutung bei der Versorgung von Tauchunfällen hat unverändert die frühzeitige und konsequente Atmung von 100 %igem Sauerstoff [9, 10]. Nur über einen größtmöglichen Gradienten kann der erhöhte Anteil des Inertgases (z. B. Stickstoff) im Gewebe über die alveoläre Ventilation reduziert werden. Ein gesteigerter Sauerstoffpartialdruck kann zudem die Resorption von intravaskulären Gasblasen verbessern und Gewebhypoxien durch embolisierende Gasblasen sowie deren mechanische und biochemische Folgeschäden vermindern.

In der neuen Leitlinie werden die technischen Möglichkeiten für eine Applikation von 100 %igem Sauerstoff explizit dargestellt. Insbesondere die rettungsdienstlich zunehmende Verfügbarkeit der „Continuous-positive-airway-pressure“ (CPAP)-Atmung wurde in die Leitlinie aufgenommen. Die unerwünschte Nebenwirkung, bei verletztem Lungparenchym durch einen erhöhten Atemwegsdruck einen Pneumothorax zu vergrößern oder zu provozieren, wurde ausführlich und kontrovers in der Leitlinienentwicklung diskutiert. Nach der klinischen Einschätzung der Autoren der Leitlinie wurde der Verdacht für einen Pneumothorax als relative Kontraindikation für die Anwendung einer CPAP-Atmung durch medizinisches Fachpersonal bewertet.

In der Primärversorgung wird unverändert eine moderate Flüssigkeitsgabe mit 0,5–1 l/h empfohlen. Vor dem Hintergrund der Leitlinienanwendung unabhängig der national dichten Rettungsdienststruktur, ist weiterhin die orale Gabe von isotonischen, kohlenstofffreien Getränken bei stabilen, wachen Patienten sinnvoll. Für die Versorgung durch medizinisches Fachpersonal soll der Flüssigkeitseratz nach notfallmedizinischen Standards mit balancierten i.v.-Volllektrolytlösungen durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang wurde auch das sehr selten auftretende und bisher beschriebene Lungenödem bei Geräte- und auch bei Apnoetauchern diskutiert [11, 12]. Die Behandlung dieser schwer erkrankten, hoch symptomatischen Patienten entspricht hier der üblichen Notfalltherapie von Lungenödem anderer Ursachen durch den Rettungsdienst.

Anaesthesist DOI 10.1007/s00101-015-0033-7
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

B. Jüttner · C. Wölfel · H. Liedtke · K. Meyne · H. Werr · T. Bräuer · M. Kemmerer · G. Schmeißer · T. Piepho · O. Müller · H. Schöppenthau

Diagnostik und Behandlung von Tauchunfällen. Neue „Leitlinie Tauchunfall 2014–2017“

Zusammenfassung

Die überarbeitete „Leitlinie Tauchunfall 2014–2017“ wurde im April 2015 von der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) und der Schweizerischen Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin (SUHMS) veröffentlicht. In Zusammenarbeit mit Vertretern der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI), Sektion Hyperbarmedizin, dem Verband Deutscher Sporttaucher e. V. (VDST), dem Schifffahrtmedizinischen Institut der Marine, der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), dem Verband Deutscher Druckkammerzentren (VDD) sowie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) wurde die Leitlinie auf der Basis einer strukturierter Konsensfindung aktualisiert (Entwicklungsstufe S2k). Das Leitlinienprojekt wurde von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) methodisch begleitet. Die „Leitlinie Tauchunfall 2014–2017“ soll Laien, medizinischem Assistenzpersonal und Ärzten in einem spezifischen Notfallbereich Informa-

tionen und Instruktionen über den aktuellen Stand der Diagnostik und der Behandlung von Tauchunfällen geben. Dieser Beitrag fasst Empfehlungen, Zielsetzungen und die wesentlichen Schlüsselempfehlungen der „Leitlinie Tauchunfall“ zusammen. Wesentliche Bedeutung bei der Versorgung von Tauchunfällen hat die frühzeitige Atmung von 100 %igem Sauerstoff. Weiterhin werden die Ruhiglagerung und eine moderate Flüssigkeitsgabe empfohlen. Die hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) ist bei schweren Dekompressionsunfällen unverändert ohne therapeutische Alternative. Als Behandlungsschema wird grundsätzlich eine hyperbare Oxygenation bei 280 kPa empfohlen. Zukünftig sollte die Etablierung eines bundesweiten Registers von HBO-Notfallbehandlungen zur Qualitätssicherung angestrebt werden.

Schlüsselwörter

Dekompressionserkrankung · Sauerstoff · Hyperbare Sauerstofftherapie · Patientenlagerung · Flüssigkeitstherapie

Diagnosis and treatment of diving accidents. New German guidelines for diving accidents 2014–2017

Abstract

In 2015 the German Society for Diving and Hyperbaric Medicine (GTÜM) and the Swiss Underwater and Hyperbaric Medical Society (SUHMS) published the updated guidelines on diving accidents 2014–2017. These multidisciplinary guidelines were developed within a structured consensus process by members of the German Interdisciplinary Association for Intensive Care and Emergency Medicine (DIVI), the Sports Divers Association (VDST), the Naval Medical Institute (SchiffMedInst), the Social Accident Insurance Institution for the Building Trade (BG BAU), the Association of Hyperbaric Treatment Centers (VDD) and the Society of Occupational and Environmental Medicine (DGAUM). This consensus-based guidelines project (development grade S2k) with a representative group of developers was conducted by the Association of Scientific Medical Societies in Germany. It provides information and instructions according to up to date evidence to all divers and other lay persons for first aid recommendations to physician first responders and

emergency physicians as well as paramedics and all physicians at therapeutic hyperbaric chambers for the diagnostics and treatment of diving accidents. To assist in implementing the guideline recommendations, this article summarizes the rationale, purpose and the following key action statements: on-site 100 % oxygen first aid treatment, still patient positioning and fluid administration are recommended. Hyperbaric oxygen (HBO) recompression remains unchanged the established treatment in severe cases with no therapeutic alternatives. The basic treatment scheme recommended for diving accidents is hyperbaric oxygenation at 280 kPa. For quality management purposes there is a need in the future for a nationwide register of hyperbaric therapy.

Keywords

Decompression sickness · Oxygen · Hyperbaric oxygen therapy · Patient positioning · Fluid therapy

US Navy Treatment Table 6 Modifiziert nach SchiffMedInstM/GTÜM

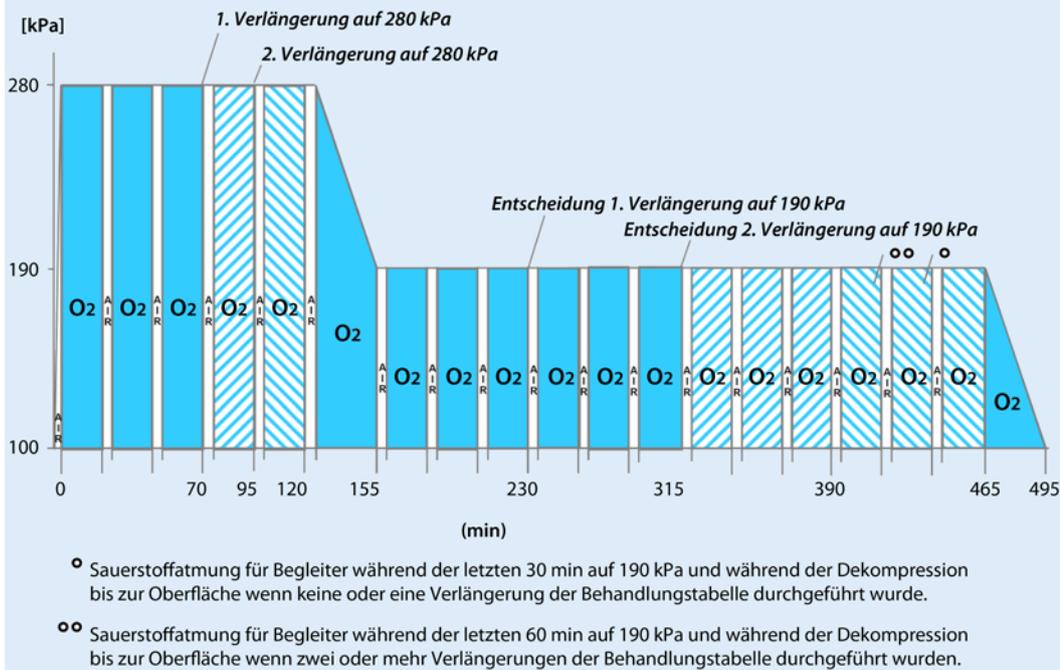


Abb. 3 ◀ „US Navy Treatment Table 6“. DCI „decompression illness“ (Dekompressionserkrankung). (Modifiziert nach SchiffMedInstM/GTÜM)

wird unabhängig von dem Atemgas, das der verunfallten Tauchers verwendet hat, empfohlen ([3], **Abb. 2 und 3**). Weiterhin soll eine frühestmögliche HBO erreicht werden. Die berichteten Behandlungsergebnisse beschreiben die vollständige Rückbildung der Symptome in 67–75,6% der Fälle in Abhängigkeit von dem Beginn der Rekompresseion nach Auftreten der ersten Symptome [19, 20]. Erfolgreiche HBO-Behandlungsergebnisse viele Stunden nach Symptombeginn verdeutlichen nach Einschätzung der Autoren der Leitlinie v. a. die komplexe Erkrankung mit systemischen inflammatorischen Reaktionen gegenüber der pathophysiologischen Annahme einer alleinigen „Gasblasenerkrankung“.

Während des Primärtransports soll die Atmung von 100 %igem Sauerstoff ohne Pause bis zum Erreichen der Behandlungskammer weitergeführt werden.

Die HBO soll von einem tauchmedizinisch fortgebildeten Arzt¹ indiziert und

durchgeführt werden. Die Druckkammerbehandlung kann bei vollständigem Rückgang der nachfolgend aufgeführten Symptome innerhalb der ersten 10 min der hyperbaren Oxygenation bei 280 kPa verkürzt werden:

- konstitutionelle bzw. unspezifische Symptome – ausgeprägte Müdigkeit,
- kutane Symptome – Hautveränderungen,
- lymphatische Symptome – lokale Schwellung,
- muskuloskeletale Symptome – Gelenk- und Gliederschmerzen,
- leichte peripher-neurologische subjektive sensorische Störungen ohne objektivierbare pathologische Befunde.

In diesen Fällen kann die Behandlung verkürzt entsprechend einer „US Navy Treatment Table 5“ oder analogen Tabellen beendet werden. Es dürfen jedoch keine zusätzlichen schweren Symptome vorliegen oder vorgelegen haben.

Sind nach der ersten Druckkammerbehandlung noch Symptome vorhanden, soll sich innerhalb von 24 h eine Folgebehandlung anschließen. Wenn zwischen

den Behandlungen vor Ort insbesondere an entlegenen Destinationen keine stationäre medizinische Versorgung möglich ist, muss ein Transport in ein entsprechend ausgestattetes Behandlungszentrum erfolgen. Die Wahl des Transportmittels erfolgt unter Abwägung des Patientenzustands, von Transportstrecke und Transportzeit sowie des möglichen „Transportmittels“. Aus Sicht der Leitliniengruppe kann hier kein prinzipielles Vorgehen empfohlen werden. Die Planung kann und sollte in Absprache mit einer der taucherärztlichen Telefonberatungen erfolgen.

Für eine eindeutige Empfehlung der Zeit nach der ersten HBO bis zu einer Verlegung mit dem Flugzeug fehlen systematisch dokumentierte Behandlungsergebnisse [21].

Versorgungssituation in Deutschland

Der gemeinsame Bundesausschuss hat die HBO für die Dekompressionserkrankung und die arterielle Gasembolie gemäß den Kriterien des §137c des Fünften Buches Sozialgesetzbuch (SGB V) als aus-

¹ Die Qualifikation soll mindestens den Weiterbildungsinhalten des „diving medicine physician“ entsprechen (<http://www.gtuem.org>, <http://www.suhms.org> oder <http://www.edtc.org>).

reichend, zweckmäßig und wirtschaftlich beurteilt. Statistiken über die Häufigkeit von Dekompressionsunfällen in Deutschland stehen nur eingeschränkt zur Verfügung. In dem Abschlussbericht des Ausschusses Krankenhaus wurde die Zahl schwerster Tauchunfälle in Deutschland auf über 200/Jahr geschätzt. Die Möglichkeit einer HBO für eine 24-h-Versorgung an 365 Tagen besteht in Deutschland derzeit an 7 Behandlungseinrichtungen [22]. Nur diese Notfallzentren geben eine kontinuierliche Erreichbarkeit und die Möglichkeit für eine intensivmedizinische Behandlung während und nach der HBO an. Andere Druckkammeranlagen in Deutschland können entweder keine fortwährende Rufbereitschaft außerhalb der täglichen Routinedienstzeit oder keine intensivmedizinische Therapie gewährleisten.

Eine wesentliche Schwierigkeit im Hinblick auf die Vorhaltung und die Finanzierung besteht darin, dass viele Druckkammern nicht in eine Klinik der höheren Versorgungsstufe integriert und Mehrkosten durch Sonderentgelte außerhalb des Klassifikationssystems für ein pauschaliertes Abrechnungsverfahren nicht vereinbart sind.

Neben der notwendigen Sicherstellung und Beauftragung der HBO in den Bundesländern ist die Einrichtung einer zentralen Vermittlung der HBO-Behandlungsplätze, vergleichbar der „Zentralen Anlaufstelle für die Vermittlung von Betten für Schwerbrandverletzte“ (ZA Schwerbrandverletzte) denkbar. Diese Entwicklung wird von den zuständigen Fachgesellschaften, der GTÜM, der DIVI Sektion Hyperbarmedizin und dem VDD verfolgt und soll mit der Rettungsleitstelle einer Berufsfeuerwehr umgesetzt werden. Die Probleme der Tauchunfallversorgung in Deutschland, insbesondere in Verbindung mit der Verfügbarkeit einer HBO, werden seit 3 Jahren intensiv diskutiert [23]. Die erste Zielsetzung einer verbesserten Organisation mit einer besseren Kommunikation der Rettungsleitstellen scheint in absehbarer Zeit erreichbar zu werden.

Die in der Leitlinie angegebenen taucherärztlichen Telefonberatungen gewährleisten zudem eine gute Qualität und 24-h-Verfügbarkeit.

Für den präklinisch tätigen Notarzt bleibt die Empfehlung des Transports in die nächste geeignete Notfalleinrichtung eines Krankenhauses. Der Rettungsdienst und der Arzt in der Notfalleinrichtung eines Krankenhauses sollen über die zuständige Rettungsleitstelle sowohl die Vermittlung einer „taucherärztlichen Telefonberatung“ als auch die Zuweisung einer übernehmenden einsatzbereiten Druckkammer anstreben. Aufgrund der unzureichenden Versorgungssituation werden weiterhin zeitaufwendige Sekundärverlegungen notwendig sein.

Zukünftig sollte von den Fachgesellschaften die Etablierung eines bundesweiten Registers von HBO-Notfallbehandlungen angestrebt werden. Nur auf diesem Weg lassen sich eine Qualitätssicherung der hyperbarmedizinischen Versorgung und wissenschaftliche Beiträge zur Versorgungsforschung erreichen.

Korrespondenzadresse

PD Dr. B. Jüttner M.A.

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover
juettner.bjoern@mh-hannover.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Die Darlegung von möglichen Interessenkonflikten erfolgte für die Mitglieder der Leitliniengruppe B. Jüttner, C. Wölfel, H. Liedtke, K. Meyne, H. Werr, T. Bräuer, M. Kemmerer, G. Schmeißer, T. Piepho, O. Müller und H. Schöppenthau mit dem von der AWMF vorgeschlagenen Formblatt. Die Angaben sind in dem „Leitlinienreport zu der methodischen Vorgehensweise bei der Entwicklung der Leitlinie Tauchunfall der GTÜM e.V. (AWMF-Register-Nr.: 072-001) in Zusammenarbeit mit der SUHMS in der Schweiz“ aufgeführt.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.). Leitlinie Tauchunfall 2014–2017. <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/072-001>. Zugriffen: 02. Apr. 2015
2. Mitchell SJ, Doolette DJ, Wacholz CJ, Vann RD (2006) Management of mild or marginal decompression illness in remote locations workshop proceedings. *DHM* 3:152–155
3. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE (2011) Decompression illness. *Lancet* 377:153–164
4. Petri NM, Andrić D (2003) Differential diagnostic problems of decompression sickness-examples from specialist physicians' practices in diving medicine. *Arch Med Res* 34:26–30

5. Sundal E, Grønning M, Troland K, Irgens A, Aanderud L, Thorsen E (2011) Risk of misclassification of decompression sickness. *Int Marit Health* 62:17–19
6. Bennett MH, Lehm JP, Mitchell SJ, Wasiak J (2012) Recompression and adjunctive therapy for decompression illness. *Cochrane Database Syst Rev* 5:CD005277
7. Böttcher F, Jüttner B, Krause A, Rocha M, Koppert W (2012) Case report: fatal diving-accident. Or: accident while diving? *Anaesthesist* 61:137–142
8. Gemppe E, Blatteau JE, Stephant E, Pontier JM, Constantin P, Peny C (2008) MRI findings and clinical outcome in 45 divers with spinal cord decompression sickness. *Aviat Space Environ Med* 79:1112–1116
9. Hyldegaard O, Moller M, Madsen J (1991) Effect of He-O₂, O₂, and N₂O-O₂ breathing on injected bubbles in spinal white matter. *Undersea Biomed Res* 18:361–371
10. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiberger JJ (2007) First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med* 34:43–49
11. Edmonds C, Lippmann J, Lockley S, Wolfers D (2012) Scuba divers' pulmonary oedema: recurrences and fatalities. *Diving Hyperb Med* 42:40–44
12. Taylor BJ, Carlson AR, Miller AD, Johnson BD (2014) Exercise-induced interstitial pulmonary edema at sea-level in young and old healthy humans. *Respir Physiol Neurobiol* 191:17–25
13. Van Allen CM, Hrdina LS, Clark J (1929) Air embolism from the pulmonary vein. *Arch Surg* 19:567–599
14. Gorman DF, Browning DM, Parsons DW et al (1987) Distribution of arterial gas emboli in the pial circulation. *SPUMS J* 17:101–115
15. Thom SR, Milovanova TN, Bogush M, Yang M, Bhopale VM, Pollock NW, Ljubkovic M, Denoble P, Madden D, Lozo M, Dujic Z (2013) Bubbles, microparticles, and neutrophil activation: changes with exercise level and breathing gas during open-water SCUBA diving. *J Appl Physiol* 114:1396–1405
16. Papadopoulou V, Tang MX, Balestra C, Eckersley RJ, Karapantsios TD (2014) Circulatory bubble dynamics: from physical to biological aspects. *Adv Colloid Interface Sci* 206:239–249
17. Balestra C (2014) The lymphatic pathway for microbubbles. *Diving Hyperb Med* 44:1
18. Papadopoulou V, Eckersley RJ, Balestra C, Karapantsios TD, Tang MX (2013) A critical review of physiological bubble formation in hyperbaric decompression. *Adv Colloid Interface Sci* 191:192:22–30
19. Gemppe E, Blatteau JE (2010) Risk factors and treatment outcome in scuba divers with spinal cord decompression sickness. *J Crit Care* 25:236–242
20. Xu W, Liu W, Huang G, Zou Z, Cai Z, Xu W (2012) Decompression illness: clinical aspects of 5278 consecutive cases treated in a single hyperbaric unit. *PLoS One* 7:e50079
21. Dowse ML, Barnes R, Smerdon G, Bryson P (2005) Time to fly after hyperbaric chamber treatment for decompression illness: current recommendations. *SPUMS J* 35:67–70
22. Notfallzentren für Tauchunfälle und andere (Notfall-) Indikationen für die hyperbare Sauerstofftherapie. <http://www.gtuem.org>. Zugriffen: 02. Apr. 2015
23. Jüttner B, Bartmann H (2014) Hyperbare Sauerstofftherapie. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 49:895–899