

Die Behandlung des Tauchunfalls

Michael Euler

Im letzten Jahrzehnt erfreut sich der Tauchsport einer zunehmenden Popularität und zählt mittlerweile auch in Deutschland über 1,5 Millionen Anhänger. Auch wenn der Tauchsport als relativ sicher im Vergleich mit anderen Sportarten gilt, gibt es jährlich eine bedeutende Anzahl an leichten bis schweren Tauchunfällen.

Kommt es zu einem Tauchunfall, gilt es zunächst, diesen als solchen zu erkennen und ihn als potenziell lebensbedrohenden Notfall einzuschätzen und dementsprechend zu behandeln. Im unmittelbaren weiteren Verlauf sollte die Vorstellung des verunfallten Tauchers in einem Druckkammerzentrum mit den entsprechenden Therapieoptionen erfolgen. Dort wird dann in Zusammenarbeit von Taucherarzt und Druckkammerarzt eine zügige Rekompresstherapie eingeleitet, um die Taucherkrankheit und ihre Symptome zu beseitigen oder zumindest deutlich zu mildern. Dabei hängt die tatsächlich durchgeführte Therapie sowohl von den technischen Möglichkeiten als auch von den Erfahrungswerten der einzelnen Druckkammerbetreiber ab und wird nicht nur in Deutschland unterschiedlich gehandhabt.

Schlagworte:

Tauchunfall, Rekompresstherapie, HBO, DCS, AGE

1. Einleitung

Noch vor zehn Jahren waren in Deutschland ca. 300.000 Tauchsportler in den entsprechenden Wassersportvereinen gemeldet. „Googelt“ man heute den Begriff „Tauchurlaub“, ergeben sich bei der Internetsuche 319.000 Treffer. Billig-Reiseanbieter und Tauchen für Jedermann ermöglichten in den letzten Jahren eine Zunahme der Tauchsportreisen in weltweite Tauchressorts.

Ging man 1999 noch von einer Million Tauchsportlern in Europa aus, zählte man 2004 bereits 1,5 Millionen Tauchsportler in Deutschland [8, 10, 17, 21]. Parallel zu der exponentiellen Steigerung der Anzahl der Tauchsportler steigt auch das Risiko, einen Tauchunfall zu erleiden [4]. Dabei scheint die Schwere des Tauchunfalls durch unprofessionelles Tauchverhalten unterstützt zu werden [15]. Statistiken über auftretende Unfälle sind unvollständig und implizieren eine hohe Dunkelziffer. Das Projekt „Dive Exploration“ (Project Dive Exploration – PDE) des Divers Alert Network (DAN)

sammelt seit 1995 auf freiwilliger Basis Daten von Tauchern über deren Tauchverhalten und den dabei auftretenden Zwischenfällen. In diese Sammlung pflegten 11.000 Taucher ihre Daten von insgesamt 137.000 Tauchgängen ein [5]. Daraus ergibt sich über die Jahre eine konstante Inzidenz von 3,1 Dekompressionserkrankungen auf 10.000 Tauchgänge. Im Jahr 2005 kam es laut des DAN zu insgesamt 167 Todesfällen, die Abbildung 2 zeigt die unterschiedlichen Todesursachen.

Dabei zeigte sich zwar eine gute Aufteilung und Zuordnung der Symptome in die einzelnen Kategorien der Taucherkrankungen, aber in der Behandlung bestanden unterschiedliche Konzepte der Rekompresstherapie eines Tauchunfalls [1, 3].

2. Physikalische Grundlagen

Der Mensch ist auf Meereshöhe einem Umgebungsdruck von 100 kPa (= 1 bar) Luftdruck ausgesetzt. Dies gilt auch für den Taucher bereits vor Beginn seines Tauchganges. Dieser Ausgangsdruck nimmt pro zehn Meter Wassertiefe um jeweils 100 kPa zu und führt in den so genannten oberflächennahen Tiefen bis 10 m zu einer Verdoppelung des Umgebungsdruckes auf 200 kPa. Aus den daraus resultierenden Druckschwankungen können bereits bei geringen Tiefen tauchassoziierte Erkrankungen auch ohne Verwendung von Druckluftgeräten auftreten. Eine erneute Verdoppelung des Umgebungsdruckes würde dementsprechend erst bei 30 m Wassertiefe auf 400 kPa auftreten. Um die Auswirkungen dieser Druckdifferenzen auf den Taucher auch im Hinblick auf das Auftreten von Tauchunfällen beurteilen zu können, muss man sich mit den Gesetzen von Boyle-Mariotte und Henry auseinandersetzen.

Boyle-Mariotte

Die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften von Gasen erfolgten annähernd zeitgleich durch den Iren Robert Boyle (1662) und den Franzosen Edme Mariotte (1676) und mündeten in der später nach ihnen benannten Boyle-Mariotte-Gesetzmäßigkeit, dass bei konstanter Temperatur das Produkt aus Volumen und Druck konstant bleibt. Eine Auswirkung hat dies auf die luftgefüllten Hohlräume des Tauchers, welche unter zunehmendem Druck (Kompressionsphase) von einem adäquaten Druckausgleich abhängig sind. Erfolgt dieser nicht, kann es zu druckbedingten Schäd-

Abbildung 1: Self-Contained Underwater Breathing Apparatus (SCUBA) Diver

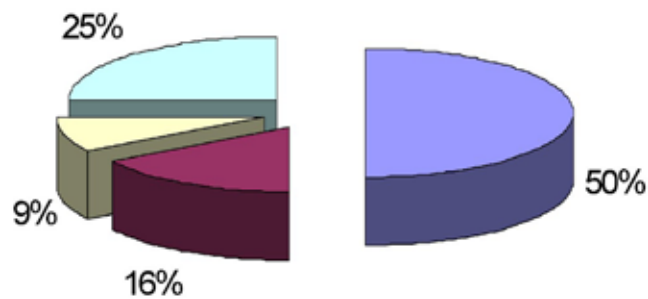


digungen (Barotrauma) zum Beispiel an Mittelohr, Nasennebenhöhlen, Margen-Darm-Trakt und Zähnen kommen. Wird nach Erreichen der geplanten Tauchtiefe diese konstant gehalten, bleibt auch der Umgebungsdruck konstant (Isopressionsphase). In der sich anschließenden Auftauchphase (Dekompressionsphase) kommt es zu einer Abnahme des Umgebungsdruckes und damit zu einer Ausdehnung der Volumina in den luftgefüllten Hohlräumen. Wird dabei ein Druckausgleich verhindert, kann es zu einer Ruptur der Hohlraumbegrenzung kommen. Besonders gefährdet ist in der Dekompressionsphase die luftgefüllte Lunge, was im Falle einer alveolären Ruptur zu einem Übertritt von Gasblasen in das arterielle System führen kann. Diese Gasblasen können in Sekunden zu den Symptomen einer arteriellen Gasembolie (AGE) führen.

Henry-Gesetz

Eine weitere für das Tauchen wichtige Gesetzmäßigkeit ist das Henry-Gesetz (nach dem englischen Chemiker William Henry, 1775 - 1836), welches das Löslichkeitsverhalten von gasförmigen Substanzen in Flüssigkeiten beschreibt. Dabei ist die Menge eines gelösten Gases in einer Flüssigkeit direkt abhängig von dem Druck über der Flüssigkeit und der Temperatur. Die Atemluft auf Meereshöhe enthält 21% Sauerstoff, 78% Stickstoff und 1% weitere Gase. Wird im Rahmen der Kompression der Umgebungsdruck erhöht, erhöht sich bei unveränderter konstanter Temperatur auch der Partialdruck der einzelnen Gase. Während der Sauerstoff in den Stoffwechsel eingeht, geht der Stickstoff als so genanntes Inertgas in Lösung über und kann durch die entsprechenden Körpergewebe unterschiedlich schnell aufgenommen werden. Das Sättigungsverhalten der einzelnen Gewebe ist zum wesentlichen Teil von der jeweiligen Organdurchblutung abhängig, sodass man Gewebe mit schnellem Sättigungsverhalten (Blut und ZNS) und Gewebe mit langsamem Sättigungsverhalten (Knochen und Knorpel) unterscheiden kann. Während es in der Isopression zur Einstellung eines Gleichgewichtes kommt, wird in der Dekompressionsphase der Sättigungsvorgang umgekehrt. Bei nachlassendem Umgebungsdruck tritt der Stickstoff wieder aus den Geweben aus, wird im Blut gelöst transportiert und in der Lunge abgeatmet. Dabei kann es auch im Rahmen eines regelrechten Tauchverhaltens zu einer nachweisbaren Blasenbildung kommen, welche im Kapillarbett der Lunge abgefangen und eliminiert wird.

Todesfälle 2005 (n=167)



■ Ertrinkungsunfall ■ Koronare Herzerkrankung ■ AGE ■ Sonstige

Abbildung 2: Todesfälle 2005 – DAN-Report

Kommt es allerdings zu einer beschleunigten Dekompression, kann der Stickstoff ähnlich dem gelösten CO₂-Gas einer Sprudelflasche beim Öffnen ausperlen, Gasblasen bilden und in den Kreislauf gelangen. Es kommt zu der Ausbildung einer Dekompressionskrankheit (Decompression Sickness – DCS) mit möglichen neurologischen Symptomen. Diese können auch noch Stunden nach dem Tauchgang auftreten.

3. Tauchassoziierte Erkrankungen

In den bereits oben beschriebenen Tauchphasen der Kompression, Isopression und Dekompression können unterschiedliche gesundheitliche Schädigungen des Tauchers auftreten.

In der Kompressionsphase kann es auf Grund der Volumenabnahme in luftgefüllten Hohlräumen zu einem Barotrauma bei folgenden Organen kommen:

Äußerer Gehörgang – Füllt sich der äußere Gehörgang mit Wasser, ist ein Barotrauma unwahrscheinlich. Erst wenn ein Hindernis (Ohrstöpsel, Cerumen oder Kopfhaube) das Eindringen von Wasser verhindert, folgt im schlimmsten Fall eine Trommelfellruptur.

Mittelohr – Der Druckausgleich der Volumenreduktion im Bereich des Mittelohrs erfolgt über die Eustach'sche Röhre. Gelingt dem Taucher der Druckausgleich nicht, droht ebenfalls eine

Trommelfellruptur. Dies kann zu einer Beeinträchtigung des Gleichgewichtsinnes mit daraus resultierender unkontrollierter Panikreaktion inklusive Notaufstieg führen.

Innenohr – Im Rahmen einer Tubenfunktions einschränkung ist eine Unterdrucksituation im Mittelohr möglich. Versucht der Taucher nun zum Beispiel im Rahmen eines Valsalva-Manövers diese auszugleichen, wirkt über einen erhöhten intracraniellen Druck dieser auch auf die Endolymphe und damit auf das runde Fenster. Eine mögliche Konsequenz wäre eine Ruptur der Rundenfenstermembran.

Nasennebenhöhlen – Ähnlich dem Mittelohr kann es bei Druckausgleichsstörungen zu der Entwicklung eines Barotraumas mit Einblutungen in die Nasennebenhöhlen kommen. Dieses führt in der Dekompressionsphase dann zu einer Abgabe des entstehenden blutigen Sekretes in die Nasenhaupthöhle.

Augen – Das Barotrauma des Auges entsteht durch den luftgefüllten Raum der Maske, und hat Einblutungen der Konjunktiven zur Folge, wenn der Druckausgleich nicht adäquat durchgeführt wird.

Zähne – Bei einem vorgeschädigten Zahn (z. B. Luft einschüsse der Füllung) besteht die Möglichkeit einer Implosion des betroffenen Zahnes.

Lunge – In der Kompressionsphase wirkt die Volumenreduktion auch auf die mit Luft gefüllte Lunge. Ist diese bei einem Apnoetauchgang mit einem entsprechenden Volumen bei einem 100 kPa-Luftdruck an der Oberfläche gefüllt worden, reduziert sich das Volumen bei zunehmender Tiefe. Bei einer Tiefe von ca. 30 m ist die Elastizität des Thorax und des Lungengewebes ausgeschöpft, sodass es nun, bedingt durch den Unterdruck, zur Ausbildung eines Ödems mit maximaler Füllung des Lungenkreislaufs und daraus resultierend zu einer Minderperfusion des großen Kreislaufs kommt. Taucht man hingegen mit einem Drucklufttauchgerät, wird einem die Einatemluft in einem zur Umgebung passenden Druck angeboten, sodass kein Unterdruck entsteht.

Verdauungsorgane – Auch dieses luftgefüllte Organ unterliegt den oben genannten physikalischen Gesetzen, sodass vor dem Tauchgang der Verzehr von Hülsenfrüchten, Kohl und anderen blähenden Nahrungsmitteln vermieden werden sollte.

Haut – Schlechtsitzende Tauchkleidung kann ebenfalls Luft umschließen und durch den entstehenden Unterdruck in diesen mit Luft gefüllten Räumen zur Hämatombildung führen [10, 13].

In der Phase der Isopression oder Grundzeit nimmt der Körper unter dem erhöhten Umgebungsdruck weiter Inertgase auf, die sich in den verschiedenen Geweben unterschiedlich aufsättigen. Dabei hängt das Maß der Sättigung zum einen von der Tiefe und zum anderen von der dort verbrachten Zeit ab. Ab einer gewissen Zeit in einer bestimmten Tiefe kommt es zu einer Übersättigung der jeweiligen Gewebe. Bis zu diesem Zeitpunkt spricht man von einem so genannten Nullzeittauchgang, der jederzeit beendet werden kann. Überschreitet die Grundzeit diesen Zeitraum, müssen für eine regelrechte Entsättigung Zwischenstopps eingehalten werden, um die Entsättigung zu ermöglichen. Aus den entsprechenden Tauchtabellen kann man die jeweilige Tiefe und die entsprechenden Zeiten bis zur Entsättigung ablesen, die dann in das Auftauchverhalten mit einfließen müssen.

Am Ende der Grundzeit beginnt der Vorgang des Auftauchens und damit die Phase der Dekompression. Hierbei kommt es zu einer Abnahme des Umgebungsdruckes, der auf den Körper einwirkt. Die in den einzelnen Geweben diffundierten Gase treten in ihrer gelösten Form wieder ins Blut über und können schließlich über die Ausatemluft abgeatmet werden. Erfolgt die Druckabnahme zu rasch (falsche Auftauchgeschwindigkeit/Notaufstieg), kann es zu einem Ausperlen der Gase, im Besonderen des Stickstoffs, in allen Gewebekompartimenten kommen. Ein Unfall, der in der Phase der Dekompression entsteht, kann als Dekom-

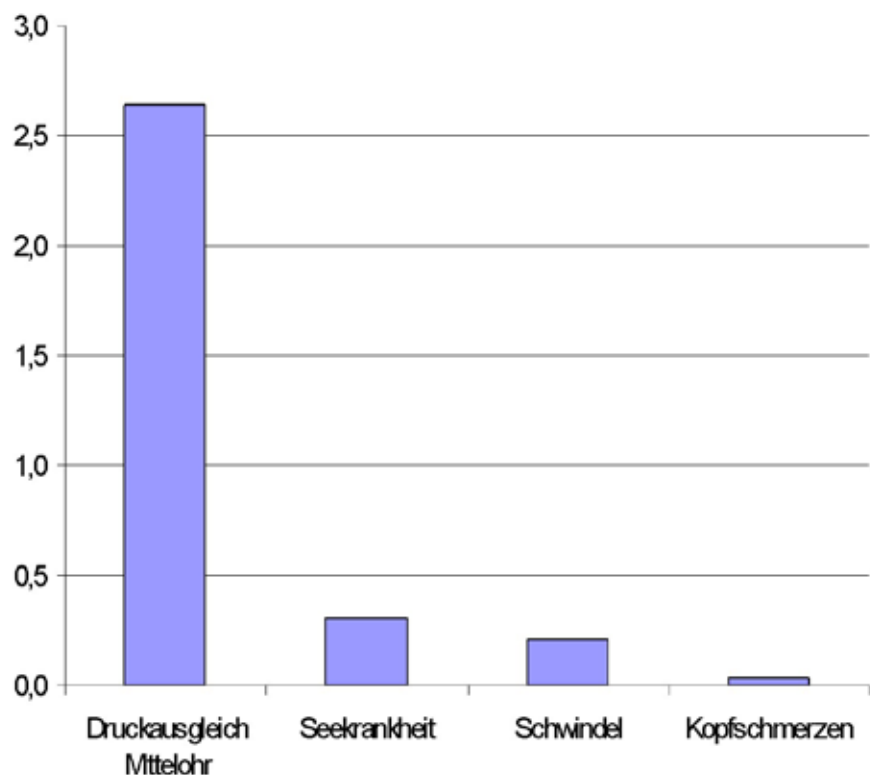
pressionserkrankung (engl. Decompression Illness - DCI) benannt werden und fasst damit die Dekompressionskrankheit (engl. Decompression Sickness – DCS) und die AGE zusammen. Die DCS beinhaltet eine Vielzahl von Symptomen und reicht von Müdigkeit über Hautsymptome, Schmerzen in den großen Gelenken (Bends), Dyspnoe (Chokes), motorische und sensible Ausfälle bis zur Bewusstseinsstörung. Diese Symptome können unterschiedlich stark ausgeprägt sein und erlauben eine Prognose über den weiteren Verlauf [12]. Diffundieren die Gasblasen ins Blut, folgen sie dem Blutstrom zur Lunge und werden dort im Kapillarsystem „abgefangen“ und abgebaut. Dies ist auch bei korrektem Auftauchverhalten dopplersonographisch nachweisbar. Bei einem Drittel der Bevölkerung ist ein persistierendes Formamen ovale (PFO) nachweisbar. Diese Inzidenz ist sicherlich auch auf den Anteil der Tauchenden zu übertragen. Trifft nun eine übermäßige Blasenbildung auf ein PFO können diese Blasen in den großen Kreislauf gelangen und zu embolischen Ereignissen führen. In wieweit ein PFO-Screening im Rahmen der Tauchtauglichkeitsuntersuchung integriert werden sollte und ob ein sogenanntes „blasenarmes Tauchen“ (geringere Tiefen und langsames Auftauchen) das Risiko des Tauchens mit bekanntem PFO reduziert, ist Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen [2, 11, 16].

Bei der Dekompression kommt es in den luftgefüllten Hohlräumen des Körpers durch die Abnahme des Umgebungsdruckes zu einer Volumenzunahme. In vielen Organen kommt es zu einer „spontanen“ Entlüftung. Bei der Lunge allerdings kann es durch Verschluss der Atemwege (willkürlich durch Luftanhalten / unwillkürlich – durch z. B. einem Schleimpfropf in den Bronchiolen) zu einer Volumenzunahme kommen, die zu einem Zerreißen der Alveolarmembran und damit einem direkten Gasübertritt in die Pleurahöhle (Pneumothorax), in das Mittelfeld (Mediastinalemphysem) oder in das Blutsystem als AGE führen kann. Dieses Barotrauma der Lunge tritt typischerweise schlagartig auf und kann im Gegensatz zu den Symptomen der DCS, die sich über Stunden ausbilden können, ursächlich für den lebensgefährlichen Tauchunfall sein.

Alle diese tauchassoziierten Erkrankungen treten mit einer unterschiedlichen Inzidenz auf. Dabei sind Druckausgleichstörungen des Mittelohres [5, 7] (Abbildung 3) bei den am PDE teilnehmenden Tauchern führend.

Im Jahr 2006 wurden durch die DAN-Telefonhotline, die auch für die nicht PDE teilnehmenden Taucher zur Verfügung steht, von insgesamt 5.645 Notrufen 1.268 einer tauchassoziierten Ursache zugeordnet. Im Rah-

Abbildung 3: Symptome (nicht DCS) in Prozent zu 15056 Tauchgängen



men der weiteren Überprüfung durch das medizinische Team erfolgte die Kategorisierung der geschilderten Beschwerden. 27,7% litten an einem Barotrauma (Mittelohr 6,8%, Lunge 2,2%, Nasennebenhöhlen 2,0%), 16,2% an einer DCS und 0,7% an einer arteriellen Gasembolie. Ein Lungenödem wurde mit einer Häufigkeit von 0,2% beschrieben.

Zu den Todesfällen und deren wahrscheinlichen Ursachen liegen aus dem aktuellen DAN-Report derzeit nur die Zahlen aus dem Jahr 2006 vor. Betrachtet man dabei die identifizierten Auslöser (Trigger) für die Entstehung eines Tauchunfalls mit tödlichem Ausgang wie problematische Ausrüstung, Probleme beim Tarnen oder unkontrollierter rascher Aufstieg aus dem Jahr 1970 [14] und vergleicht sie mit der heutigen Zeit [6], so zeigen sich trotz der starken Zunahme an Freizeittauchern keine wesentlichen Änderungen bezüglich der Ursachen des tödlichen Tauchunfalls.

Erkennen eines Tauchunfalls

Trotz der entsprechenden Empfehlungen der Tauchsportverbände im Hinblick auf Tauchtauglichkeit, Qualität der Ausbildung und der Ausbilder etc. bekommt man bei einzelnen Fallbeschreibungen den Eindruck, dass die Quantität und damit der finanzielle Aspekt des kommerziellen Tauchens in den Urlaubsgebieten überwiegt. Exemplarisch sei eine 48-jährige Krankenschwester mit der Erfahrung von mehr als 200 Tauchgängen erwähnt, die sich zur Druckkammerbehandlung vorstellen musste. Sowohl in Bezug auf Tauchprofile, Oberflächenpausen und Dekompressionsstopps als auch im Umgang mit Symptomen einer DCS zeigte sich von Seiten des Veranstalters ein Verhalten, das die Entstehung einer Taucherkrankung begünstigte. Trotz Hinweisen der Taucherin an die Begleiter der Tauchsafari vergingen mehrere Tage, bis sie einer Rekompresstherapie zugeführt werden konnte. Anders als in dem genannten Beispiel sind Folgen von Kompression und Dekompression in zeitlichem und örtlichem Abstand vom Tauchplatz häufig schwer als Tauchunfall zu erkennen und bedürfen einer genauen Anamnese.

Erste Hilfe beim Tauchunfall

Alle der mit dem Tauchen assoziierbaren Erkrankungen haben die Gemeinsamkeit eines relativen Sauerstoffmangels. Auch wenn das primäre Monitoring bei der Notfallmedizinischen Versorgung normale periphere SpO₂-Werte aufweist, bedürfen diese Patienten der Behandlung mit 100% Sauerstoff, am besten über ein Demand-Ventil oder zumindest über ein Reservoir appliziert. Zusätzlich leiden Taucher nach dem Tauchgang als Folge der Immersion (Eintauchen bis zum Kopf) und Submersion (vollständiges Eintauchen) immer an einer Dehydration, sodass als weitere Maßnahme die Flüssigkeitssubstitution erfolgen sollte [18]. Die Lagerung ist nach den allge-

meinen Erste-Hilfe-Regeln (Flachlagern, ggf. stabile Seitenlage) durchzuführen. Der intubierte Patient bekommt ebenfalls 100% Sauerstoff angeboten [20]. Parallel dazu muss der schnelle und schonende Transport in eine Druckkammer organisiert werden, um so zeitnah wie möglich eine Rekompresstherapie einzuleiten. Der Benefit einer intravenösen Gabe von Acetylsalicylsäure und Cortison konnte bisher nicht belegt werden [23].

Rekompresstherapie

Die Rekompresstherapie sollte so schnell wie möglich nach dem Ereignis erfolgen. Während sich Berufstaucher schon im Vorfeld einer zu betauchenden Baustelle über die medizinische Infrastruktur inklusive der nächstgelegenen Druckkammer informieren und gewerbliche Überdruckarbeiten gar nicht erst ohne die notwendige, verfügbare Druckkammer in Betrieb gehen dürfen, taucht der Sporttaucher durchaus erst einmal und wird erst beim Auftreten eines Tauchunfalls mit den logistischen Herausforderungen konfrontiert. Dadurch kann es zum einen zum Negieren von Symptomen kommen und zum anderen dazu führen, dass erst der Hausarzt beim Persistieren der Beschwerden mit den häufig uncharakteristischen Symptomen konfrontiert wird. Folglich ist eine Unterschätzung der Symptome durch den tauchmedizinisch nicht vorgebildeten Arzt durchaus möglich und beobachtbar [22]. Daraus resultiert in der Praxis häufig eine deutliche Verzögerung bis die Vorstellung zur Druckkammerbehandlung erfolgt. Ross konnte in seiner Untersuchung [19] zeigen, dass das Outcome des Verunfallten mit der Druckkammertherapie korreliert. Nach der Einführung einer zweiten, näheren Druckkammer konnte er aufzeigen, dass das Outcome der Verunfallten mit zunehmender Entfernung zur Druckkammer und dem damit verbundenen längeren Zeitintervall bis zum Beginn der Therapie abnahm [21]. Trotzdem ist auch eine zeitverzögerte Therapie bei nicht erkanntem Tauchunfall, verspäteter Diagnose und fortbestehenden Symptomen im Einzelfall noch indiziert und kann Symptome verbessern [1].

Kommt es im Rahmen des Tauchunfalls zu einer derartigen Beeinträchtigung des Tauchers, dass er Intubations- und damit intensivpflichtig ist, schränkt dies die Auswahl der Druckkammer rasch ein. So sind zurzeit (Stand Mai 2009) laut der „Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin“ (GTÜM – www.gtuem.org) weniger als 15 Druckkammern in Deutschland 24 Stunden am Tag in der Lage, einen intensivpflichtigen Patienten mittels hyperbarer Sauerstofftherapie zu behandeln [9].

Bei der hyperbaren Sauerstofftherapie handelt es sich um eine für den Tauchunfall anerkannte Therapieform, bei der die Applikation von 100% Sauerstoff unter einem erhöhten Um-

gebungsdruck über definierte Zeitintervalle erfolgt. Per definitionem muss dieser Druck dem gesamten Körper anliegen. Die im deutschen Sprachgebrauch übliche Bezeichnung HBO wurde abgeleitet aus dem englischen „hyperbaric oxygenation“ oder „hyperbaric oxygen therapy“. Dabei kommen gerade für die Behandlung des Tauchunfalls Tabellen zur Anwendung, die überwiegend basierend auf den Tabellen der US Navy weiterentwickelt wurden und das Verhältnis von Überdruck zu Zeit auflisten [8]. Diese Therapieschemata (TS) beschreiben die Höhe des anliegenden Drucks und das dazugehörige Zeitintervall. Als Beispiel sei ein Therapieschema mit einem maximalen Druck von 280 kPa über eine Stunde genannt. Die entsprechende Bezeichnung lautet TS 280-60 und entspräche einem Wasserdruk von 18 m Wassertiefe. Im Rahmen der Behandlung einer DCS sollten vor allem lange Zeiten mit initial hohen Drücken favorisiert werden [1].

So werden derzeit von der GTÜM die folgenden Behandlungskonzepte empfohlen:

Bei offensichtlich unterlassener Dekompression ohne Symptome sollte eine prophylaktische Therapie in Form der Tabelle 5 (TS 280-40) erfolgen. Diese Prophylaxe wäre zum Beispiel bei einem symptomlosen Tauchpartner eines an einer Form des DCS leidenden Tauchers oder nach einem Notaufstieg ohne erforderlichen Zwischenstopp nach einem dekompresstionspflichtigen Tauchgang indiziert. Bei diesem Therapieschema wird, ähnlich wie bei den weiter unten folgenden Therapieschemata zunächst hoher Anfangsdruck angelegt, der im Folgenden phasenweise vermindert wird. Das Atemgas ist dabei reiner Sauerstoff. Um das Risiko einer Sauerstoffintoxikation zu reduzieren, erfolgt nach jeweils 20 Minuten reiner Sauerstoffatmung eine kurze Pause, in denen eine Luftatmung erfolgt. Die anschließende Dekompression erfolgt, wenn möglich (Druckkammer-Herstellerabhängig) bis zum Erreichen des Ausgangsdruckes von 100 kPa unter reiner Sauerstoffgabe.

Berichtet der Taucher nach einem Tauchgang über Schmerzen vor allem in den großen Gelenken, handelt es sich wahrscheinlich um die Form einer DCS vom Typ „pain-only“. Hier würde nach den Empfehlungen der GTÜM zurzeit die Tabelle 6 (TS 280-60) angewandt werden.

Bei einer DCS schwereren Ausmaßes mit neurologischen Defiziten käme die verlängerte Tabelle 6 zur Anwendung (TS 280-60E(xtended)). Hierbei können sowohl die Zeitintervalle auf hohem Druckniveau als auch auf reduziertem Druckniveau jeweils verlängert werden. Ziel sollte sein, bereits während der Behandlung einen Beschwerderückgang verzeichnen zu können. Dabei kann es sich, schöpft man alle Verlängerungen aus, um eine Therapie von mehr als acht Stunden handeln. Dabei gilt dieses

Therapieschema (TS 280-60) mit und ohne Verlängerungen als die Standardbehandlungstabelle für alle akuten Formen der Dekompressionskrankheit.

Leidet der verunfallte Taucher an den Symptomen einer AGE, sollten die initialen Behandlungsdrücke höher gewählt werden. Dabei kommen bei der Tabelle 6A (TS 600-30) Umgebungsdrücke zur Anwendung, die einer Wassertiefe von 50 m entsprechen würden. Bei diesen Drücken werden in der Regel zur Vermeidung von Sauerstoffintoxikationen Mischgase wie Nitrox oder Heliox in einem 50/50-Mischverhältnis eingesetzt. Wird das Druckniveau nach 30 Minuten auf 2,8 bar gesenkt, erfolgt dann wie gewohnt eine 100%ige Sauerstoffgabe. Diese Tabelle wird in der Regel nur einmalig zu Beginn der Behandlung angewandt.

Eine Alternative zur Tabelle 6A der US Navy ist die heute so genannte „Stolt Offshore Table 30“ (TS 400-60), die früher unter dem Namen „Comex Tabelle 30“ (Cx30) bekannt war und ein Therapieschema mit 400 kPa (entsprechend 30 m Wassertiefe) über 60 Minuten unter einer Helioxatmung beschreibt. Über weitere 85 Minuten erfolgt unter Helioxatmung eine stufenweise Senkung des Druckes auf 2,8 bar und beim Erreichen dieses Druckes das Atmen von reinem Sauerstoff. Auch dieses Behandlungsschema nimmt mehr als sieben Stunden in Anspruch.

In unserer Klinik haben wir gute Erfahrungen mit einer modifizierten Tabelle 5A (TS 600-30 modifiziert) bei der Behandlung des akuten Tauchunfalls inklusive AGE gemacht. Unter intensivmedizinischem Monitoring erfolgt zunächst eine rasche Kompression auf 600 kPa (50 m Wassertiefe) für bis zu 30 Minuten. Dabei kommt in der Phase der Kompression und Isopression bei 600 kPa das Mischgas Nitrox zur Anwendung. Unter entsprechendem transcutanen SpO₂-Mapping erfolgt bei der stufenweise eingeleiteten Dekompressionstherapie die frühe Gabe von reinem Sauerstoff. Die darunter geschilderten Symptome entscheiden dann ähnlich dem Vorgehen bei der Tabelle 6E über die entsprechenden Verlän-

gerungen auf den einzelnen Dekompressionsstufen. Nach einer abgeschlossenen Rekompresstherapie erfolgt in unserer Klinik die weitere stationäre Überwachung, um eventuelle Nebenwirkungen zu erfassen. Parallel erfolgt standardisiert die neurologische Mitbeurteilung des Patienten zur Erfassung eines potenziellen höhergradigen Defizits [22]. Den Diagnosen entsprechend können folgende Behandlungsschemata zusammenfassend für die erste Therapie zum Einsatz kommen (siehe Tabelle 1: HBO Behandlungstabellen beim Tauchunfall).

Das Schema der folgenden Therapien wird in Abhängigkeit zu den noch vorhandenen Beschwerden nach der ersten Behandlungseinheit gewählt. In der Regel kommen dann die Tabellen 5 oder 6, häufig auch das so genannte Problemwundenschema (TS 240-90) zum Einsatz. Neben der symptomatischen Therapie der Beschwerden (z. B. Schmerzmedikation) sollte die physiotherapeutische Rehabilitation gerade im Hinblick auf neurologische Symptome berücksichtigt werden.

4. Zusammenfassung

Tauchunfälle sind wahrscheinlich wesentlich häufiger als die Datenlage zurzeit hergibt. Dabei bergen die unterschiedlichen Tauchphasen der Kompression, Isopression und Dekompression ihre eigenen Risiken. Kommt es zu einem Tauchzwischenfall und zu der Ausbildung von Symptomen, müssen diese zuerst vom Taucher als solche wahrgenommen werden und dann einem Taucherarzt („diving medicine physician“) geschildert werden. Ist der Zwischenfall ernster und eine erste Hilfe erforderlich, sollte diese den Leitlinien der „Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin“ entsprechend durchgeführt werden. Anschließend sollte auch bei nur geringen Beschwerden die Überführung des Verunfallten in ein Druckkammerzentrum, welches auf die Behandlung von Tauchunfällen spezialisiert ist, zügig erfolgen. Dort wird in der Zusammenschau der klinischen Befunde unter Berücksichtigung des individuellen Tauchverhaltens die Auswahl der entsprechenden Therapie durch den Druckkammerarzt („hyperbaric medicine physician“) festgelegt.

Literatur

- [1] Antonelli, C., et al., Guiding principles in choosing a therapeutic table for DCI hyperbaric therapy. *Minerva Anestesiol*, 2009. 75(3): p. 151-61.
- [2] Balestra, C., P. Germonpre, and A. Marroni, Intrathoracic pressure changes after Valsalva strain and other maneuvers: implications for divers with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med*, 1998. 25(3): p. 171-4.
- [3] Bennett, M.H., et al., Recompression and adjunctive therapy for decompression illness. *Cochrane Database Syst Rev*, 2007(2): p. CD005277.
- [4] Boettger, M.L., Scuba diving emergencies: pulmonary overpressure accidents and decompression sickness. *Ann Emerg Med*, 1983. 12(9): p. 563-7.
- [5] DAN. Annual Diving Report - 2007 Edition. Divers Alert Network [Internet] 2007 [cited 2007; 2007:][Available from: <http://www.diversalernetnetwork.org/>].
- [6] Denoble, P.J., et al., Common causes of open-circuit recreational diving fatalities. *Undersea Hyperb Med*, 2008. 35(6): p. 393-406.
- [7] Kemmer, A., W. Welslau, and C.M. Muth, [Injuries caused by pressure differences while diving]. *MMW Fortschr Med*, 2005. 147(27-28): p. 33-4.
- [8] Klingmann, C., Tetzlaff, K., *Moderne Tauchmedizin. Handbuch für Tauchlehrer, Taucher und Ärzte*. 2009: Alfons W. Gentner Verlag; Auflage: 1 (22. Januar 2007). 790 (Gebundene Ausgabe).
- [9] Klingmann, C. and F. Wallner, [Current diving medicine. 1. The Heidelberg Symposium on Diving Medicine, 22 November 2003]. *Hno*, 2004. 52(7): p. 585-9.

Tabelle 1: HBO Behandlungstabellen beim Tauchunfall

Diagnose	Tabelle	1. Therapie
Missed Decompression	US Navy 5	TS 280-40
DCS I	US Navy 6	TS 280-60
DCS II	US Navy 6 Extended	TS 280-60 E
AGE	US Navy 6A	TS 600-30
	Stolt Offshore Table 30	TS 400-60
	US-Navy 5A modifiziert	TS 600-30 Mod.

[10] Klingmann, C. and F. Wallner, [Health aspects of diving in ENT medicine. Part I: Diving associated diseases]. Hno, 2004. 52(8): p. 757-67; quiz 768-9.

[11] Koch, A.E., et al., Incidence of abnormal cerebral findings in the MRI of clinically healthy divers: role of a patent foramen ovale. Undersea Hyperb Med, 2004. 31(2): p. 261-8.

[12] Koch, A.E., et al., Viewpoint: the type A- and the type B-variants of Decompression Sickness. Undersea Hyperb Med, 2008. 35(2): p. 91-7.

[13] Kromp, T., Roggenbach, H., Bredebusch, P., Praxis des Tauchens. Edition Naglschmid ed. 2008: Delius Klasing. 428.

[14] Lansche, J., Deaths during skin and scuba diving in California 1970. Calif Med, 1972. 116: p. 18-22.

[15] Lehm, J.P. A comparison of two group of divers with decompression illness from 1985-1989 and 1998-2001. in UHMS Annual Scientific Meeting Abstracts. 2004. Sydney, Australia: Underwater and Hyperbaric Medicine.

[16] Lier, H., Persistierendes Foramen ovale - Ein unterschätztes Risiko für den Taucher? Dtsch Med Wochenschr, 2004. 129: p. 27-30.

[17] Plafik, C., Der Dekompressionsunfall in der Tauchmedizin. Dt Ärztebl, 1999. 96(Heft 50): p. A-3248-3251.

[18] Plafki, C., M. Almeling, and W. Welslau, [Dehydration--a risk factor for the decompression-accident in diving]. Dtsch Z Sportmed, 1997. 48(6): p. 242-4.

[19] Ross, J. The treatment of decompression illness arising from diving around the orkney islands october 1991- june 2003. in UHMS An-

nual Scientific Meeting Abstracts. 2004. Sydney, Australia: Underwater And Hyperbaric Medicine.

[20] Schroder, S., H. Lier, and S. Wiese, [Diving accidents. Emergency treatment of serious diving accidents]. Anaesthesist, 2004. 53(11): p. 1093-102.

[21] Spira, A., Diving and marine medicine review part II: diving diseases. J Travel Med, 1999. 6(3): p. 180-98.

[22] Sundal, E. Risk of misclassification of dekompresionskrankheit. in UHMS Annual Scientific Meeting Abstracts. 2004. Sydney, Australia: Underwater And Hyperbaric Medicine.

[23] Welslau, W., Almeling, M. Dekompresionskrankheit. Internet [cited June 2009; Available from: http://www.fotosub.dk/vip_files/Scuba%20-%20E.books/German/.

CAISSON

Der CAISSON ist seit 1986 das offizielle Organ der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM). Er erscheint viermal jährlich. Alle Ausgaben werden jeweils mit einem halben Jahr Verzögerung ins Internet gestellt (www.gtuem.org) und können als PDF herunter geladen werden. Abgebildet sind die Hefttitel aus dem Jahr 2008.

Die Düsseldorfer Redaktion freut sich über Beiträge aus dem Bereich der Tauch- und der Überdruckmedizin. Das gilt für experimentelle wie für klinische Studien aber auch für Fallberichte. Berichte über die Tauchphysiologie mariner Lebewesen und von Menschen sind ebenfalls willkommen, ebenso wie Berichte über die neuere Entwicklung der Tauchausrüstung und der Druckkammertechnik.

Redaktion

Prof. Dr. JD Schipke
 Universitätsklinikum Düsseldorf
caisson@gtuem.org
j.schipke@gtuem.org

