

■ Heilung unter Druck

Reiner Sauerstoff begünstigt die Heilung von Wunden, wenn er unter hohem Druck verabreicht wird. Doch Taucher wissen: Zuviel Sauerstoff kann auch gefährlich sein.

Ein Tauchgang auf fünfzig Meter Tiefe, ohne nass zu werden – das ist beispielsweise in der Druckkammer der Uniklinik Düsseldorf möglich. Die Kammer, eine Art abgesägter Flugzeugrumpf mit Sitzen an den Wänden, dient dazu, Taucher nach einem Dekompressionsunfall zu retten. Durch den höheren Druck in der Tiefe sammelt sich Stickstoff im Blut an: Bei schnellem Auftauchen bildet dieser Blasen und kann die Blutgefäße lebensgefährlich verstopfen. Selbst in Seen kommt es vor, dass Taucher zu schnell an die Oberfläche schwimmen, wenn das Atemgas knapp wird. Einige Stunden in der Druckkammer helfen, das langsame Auftauchen nachzuholen und den Stickstoff im Blut abzubauen.

Etwa dreißig Druckkammern gibt es in Deutschland. Alle finanzieren sich durch die so genannte hyperbare Sauerstofftherapie – die Rettung von Tauchern ist eine zusätzliche Anwendung. Bei der Sauerstofftherapie „tauchen“ die Patienten im Trockenen auf 14 bis 20 Meter ab. Dabei atmen sie über Masken reinen Sauerstoff ein, um den Körper mit mehr Sauerstoff zu versorgen. Erfolge sind bei schlecht heilenden Wunden, insbesondere beim diabetischen Fußsyndrom, belegt. Außerdem hilft die Behandlung



In Druckkammern können Taucher nach einem Unfall das langsame Auftauchen

nachholen oder Patienten mit schlecht heilenden Wunden behandelt werden.

Infektion, die anaerob lebende Bakterien auslösen. Für sie ist Sauerstoff giftig, sodass sie absterben.

Auch bei Kohlenmonoxid-Vergiftungen gibt es keine Alternative zur Druckkammertherapie. Bundesweit bieten elf Stationen einen 24-Stunden-Notdienst an. Wird eine Person z. B. im Schlaf von Feuer überrascht, dockt Kohlenmonoxid an den Eisenkomplex im Hämoglobin an. Der rote Blutfarbstoff kommt seiner Aufgabe nicht nach, Sauerstoff zu transportieren, und die Person erstickt in Sekunden. Nach einer Erstversorgung mit reinem Sauerstoff folgt daher die Behandlung in der Druckkammer. Dort sorgt die Gabe reinen Sauerstoffs unter erhöhtem Druck dafür, dass das Kohlenmonoxid am Hämoglobin verdrängt und durch Sauerstoff ersetzt wird. Durch diese „Sauerstoff-Wäsche“ beträgt die Halbwertszeit des Kohlenmonoxids im Blut etwa eine halbe Stunde – mit reinem Sauerstoff bei Normaldruck wären es zwei Stunden, mit Raumluft sogar fünf Stunden.

Die hyperbare Sauerstofftherapie wirkt im Körper sowohl antibiotisch als auch durch die bessere Versorgung von Zellen mit Sauerstoff in schlecht durchbluteten Gebieten. Zum einen lädt sich das Hämoglobin besser mit Sauerstoff auf:

Die Verhältnisse in der Druckkammer sättigen es vollständig. Durch die hohe Beladung mit Sauerstoff werden rote Blutkörperchen in Laborversuchen elastischer und können sich leichter durch Blutgefäße zwängen. Das beugt Embolien vor. Zum anderen löst der hohe Druck den Sauerstoff physikalisch im Blut: Das Atemgas gelangt durch Diffusion in die Zellen. In Experimenten erreichte dadurch ebenso viel Sauerstoff die Zellen wie auf normalem Weg. In der Druckkammer könnte theoretisch ein Plasma ohne rote Blutkörperchen unseren Körper mit Sauerstoff versorgen.

Nach dem Henry-Gesetz ist die Menge des Gases, das sich in einer Flüssigkeit lösen lässt, proportional zum Druck. Raumluft besteht zu 21 Prozent aus Sauerstoff. Bei einem Luftdruck von einem Bar ergibt sich ein Sauerstoff-Partialdruck von etwa 0,2 Bar. Atmet der Patient aber reinen Sauerstoff ein, verfünffacht sich der Partialdruck annähernd. Bei einer „Tauchtiefe“ von 14 Metern steigt außerdem der Umgebungsdruck auf 2,4 Bar an. Durch den höheren Druck in der Kammer und den höheren Sauerstoffanteil steigt der Sauerstoff-Partialdruck im Körper also auf 2,4 Bar bzw. den zwölffachen Wert unter Normalbedingungen an.

Diese Zahl sollte geübte Taucher stutzig machen, insbesondere wenn



bei beginnendem Tinnitus, weil häufig mangelnde Durchblutung die lästigen Ohrgeräusche verursacht. Die meisten Krankenkassen bezahlen die Therapie aber nur beim so genannten Gasbrand, einer

sie einen Nitrox-Kurs absolviert haben. Dort lernt man, dass Sauerstoff unter hohem Druck giftig wird und einen Sauerstoffkrampf verursacht, der entfernt an einen epileptischen Anfall erinnert. Beim Nitrox-Tauchen wird das Atemgas mit Sauerstoff angereichert. Gängig sind Sauerstoffanteile um die 30 Prozent, manchmal auch bis zu 36 Prozent. Vor dem Tauchgang mit Nitrox gilt es daher, den Anteil mit einem Sensor zu bestimmen. Die übliche Grenze für den Sauerstoff-Partialdruck beträgt 1,6 Bar, vorsichtige Tauchmediziner empfehlen sogar 1,4 Bar als Grenze. Aus dem gemessenen Sauerstoffanteil ergibt sich eine maximale Tauchtiefe, die in so genannten Nitrox-Tabellen dokumentiert ist (Tabelle).

Mit Hochdruck tauchen

Befindet sich in der Flasche zum Beispiel eine Gasmischung mit 32 Prozent Sauerstoff, sollte sich der Taucher nicht in größere Tiefen als 33,7 Meter begeben, wenn der Sauerstoff-Partialdruck 1,4 Bar nicht überschreiten soll. Bei den üblichen Tauchtiefen im Urlaub ist ein höherer Sauerstoffanteil also unbedenklich, während gleichzeitig die Gefahr eines Dekompressionsunfalls geringer ausfällt. Außerdem berichten viele Taucher, dass sie sich frischer fühlen, besonders wenn sie mehrere Tauchgänge am Tag absolvieren.

Doch wieso ist ein Sauerstoff-Partialdruck von mehr als 1,6 Bar beim Tauchen gefährlich, während 2,4 Bar bei der hyperbaren Sauerstofftherapie gesund sein sollen? Entscheidend sind der Grad der Aktivität und der Immersion, wie Mediziner das Eintauchen in ein flüssiges Medium nennen. Der Organismus verhält sich anders, wenn er sich in Luft bzw. teilweise oder ganz in Wasser befindet. Der Effekt beruht möglicherweise auf der Aktivierung des sympathischen und parasympathischen Nervensystems sowie Änderungen im Blutfluss, weil sich die Körpervolumina unter Druck umverteilen. Die Gefahr eines Sauerstoffkrampfs in der Druckkammer ist sehr gering. Tritt der Fall dennoch ein, wird das Atemgas sofort auf normale Luft umgestellt, und der diensthabende Arzt begibt sich schnellstens in die Druckkammer. Dafür ist eine Schleuse so ausgelegt, dass der Arzt mit bis zu 40 Meter pro Minute von Normaldruck auf den Innendruck der Kammer fährt, um zum Patienten zu gelangen. Beim Tauchen ist das nicht möglich – häufig führt ein Sauerstoffkrampf zum Verlust des Atemreglers und dadurch zum Ertrinken.

Ganz ohne Risiko ist aber auch die Behandlung in der Druckkammer nicht: Bei verstopften Atemwegen kann die Luft nicht aus Mittelohr, Nasennebenhöhlen

Nitrox-Tabelle zum Bestimmen der max. Tauchtiefe

| | Sauerstoff-Partialdruck: 1,4 Bar | | | Sauerstoff-Partialdruck: 1,6 Bar | | |
|-----------------------------|----------------------------------|----|----|----------------------------------|----|----|
| | | | | | | |
| Sauerstoffanteil in Prozent | 32 | 36 | 40 | 32 | 36 | 40 |
| max. Tauchtiefe in Metern | 33 | 28 | 25 | 40 | 34 | 30 |

In Nitrox-Tabellen können Taucher nachschlagen, welche Tauchtiefen bei gegebenem Sauerstoffanteil ihres Atemgases unbedenklich sind.

und Lunge entweichen – es kann zu einem „Barotrauma“ kommen. Denn beim „Auftauchen“ bleibt das Produkt aus Druck und Volumen konstant: Sinkt der Druck, so wächst das Volumen an. Dadurch können Schäden an Trommelfell oder Lungen auftreten. Deshalb werden Patienten vor und nach jedem „Tauchgang“ untersucht.

Sitzen die Masken der Patienten nicht dicht, sind auch Brände eine Gefahr. Wenn sich in der Kammer viel Sauerstoff anreichert, genügt der kleinste Funke für ein verheerendes Feuer. In Mailand starben vor 20 Jahren Patienten bei einem Brand, den ein kohlebetriebener Taschenwärmer auslöste. Heutige Sicherheitsvorschriften reduzieren die Gefahr solcher Unfälle, sodass sich die Patienten ganz auf die heilende Wirkung der hyperbaren Sauerstofftherapie konzentrieren können.^{#)}

Bernd Müller

#) Ich danke Dr. Sven Dreyer, leitender Druckkammerarzt am Universitätsklinikum Düsseldorf, für hilfreiche Informationen.