

Ziel: 100% Sauerstoff im Einatemgas

# Systemvergleich von Sauerstoffnotfallkoffern

C.-M. Muth, Sektion Anästhesiologische Pathophysiologie und Verfahrensentwicklung, Universitätsklinik für Anästhesiologie, Ulm

NOTFALL & HAUSARZTMEDIZIN 2004; 30: 96–97

Beim schweren Tauchunfall ist die Gabe von Sauerstoff die wichtigste Erstmaßnahme. Dabei soll so schnell wie möglich, so viel wie möglich und so lange wie möglich Sauerstoff gegeben werden. Mitunter können scheinbare Kleinigkeiten dem optimalen Therapieansatz im Wege stehen. Aus diesem Grunde ist es wichtig, Systeme und Systemkomponenten kritisch und unabhängig zu überprüfen, die so gewonnen Ergebnisse zu evaluieren und emotionslos zu diskutieren und die Ergebnisse nach Abschluss der Prüfung dem Anwender zur Kenntnis zu bringen.

Bei einem schweren Tauchunfall ist die Gabe von Sauerstoff mit einer inspiratorischen Konzentration nahe 100% die wichtigste und vordringlichste Erste-Hilfe-Maßnahme (15).

Nicht alle Systeme sind geeignet, denn gelegentlich ist schon bauartbedingt eine hohe inspiratorische Sauerstoffkonzentration ( $\text{FiO}_2$ ) nicht möglich (12). Dies betrifft festeingestellte Druckminderer für Sauerstoffflaschen mit einem Flow von 4 l/min ebenso, wie solche Geräte, bei denen Sauerstoff durch eine chemische Reaktion bereitgestellt wird. Auch hier liegt der Gasfluss bei maximal zirka 5 l/min und ist somit zur Behandlung des Tauchunfalls völlig unzureichend. Auch solche Systemkomponenten sind ungeeignet, die offensichtlich undicht sind. Hierzu zählen Sauerstoffsonden und Inhalationsmasken, die vor allem der Sauerstoffanreicherung dienen sollen (12).

Zu Überraschungen kann es hingegen kommen, wenn auch eigentlich als dicht geltende Masken, also Beatmungsmasken, getestet werden. Bei der Vielzahl von Maskentypen auf dem Markt ist es nicht möglich, den Stellenwert einer jeder einzelnen aufzuführen. Grundsätzlich ist jedoch zu sagen, dass Masken mit einem weichen und flexiblen Dichttrand deutlich weniger störanfällig sind, als starrere Masken oder Masken mit einem harten oder ge-

schäumten Dichttrand (3, 8, 9, 13, 14). Bemerkenswert ist, dass gerade preiswerte Einmalmasken in der Regel eine gute Dichtigkeit, aber leider auch nur eine begrenzte Haltbarkeit haben. Am besten schneiden solche Masken ab, bei denen der Dichttrand mit Luft befüllt werden kann.

Für manche Systeme sind auch Mundstücke lieferbar, die denen eines Schnorchels ähneln. Diese Mundstücke sind den Masken nach den vorliegenden Untersuchungen im Hinblick auf Dichtigkeit mindestens ebenbürtig, nach manchen Untersuchungen sogar überlegen (4). Allerdings gibt es Berichte, dass die Atmung von Sauerstoff über ein Mundstück von den Probanden nicht so lange toleriert wird, wie die Atmung aus der Maske (5). Der Grund dafür ist eine starke Belastung der Kiefergelenke und der Kau-muskulatur, die zu starken Verspannungen und Schmerzen führen kann.

## ■ Beatmungsbeutel

Jedem in der Notfallmedizin Tätigen soll hier in Erinnerung gerufen werden, dass ein Beatmungsbeutel auch als Atembeutel bei einer Spontanatmung genutzt werden kann. Jedoch ist ein Beatmungsbeutel ohne Zusatzausrüstung (etwa mit Reservoir-System) bauartbedingt niemals in der Lage, einen sehr hohen  $\text{FiO}_2$  zu liefern (6, 7, 12). Auf dem Markt wird

eine Vielzahl unterschiedlicher Beutel angeboten, die sich häufig nur im Detail unterscheiden. Große Unterschiede ergeben sich beim Reservoir-Konzept: Faltenbalgreservoir (Weinmann, Söhngen) und Beutelreservoir (z.B. Ambu, Dräger, Laerdal) (7, 12). Wird der Beatmungsbeutel entleert, füllt sich der Reservoirbeutel, die anschließende Füllung des Atembeutels erfolgt aus dem Reservoir. So ausgerüstet sind annähernd 100% Sauerstoff in der Einatemluft zu erreichen.

Die Ergebnisse einer Dissertation (7) sind beachtlich, denn hier wird festgestellt: „Beutelreservoir sind komplett verschlossen und müssen über Zusatzventile konnektiert werden. Bei den Faltenbalgreservoiren ist diese zusätzliche Ventileinrichtung nicht notwendig, da ihr Reservoir nicht vollständig verschlossen ist. Die Sauerstoffzufuhr erfolgt in gleicher Weise wie bei den Beutelreservoiren, jedoch ist beim Faltenbalgreservoir durch Turbulenzen, beziehungsweise das physikalische Verhalten von Gasen bei halboffenem Reservoir, das Beimischen von Raumluft nicht ausgeschlossen. Somit können bei Faltenbalgreservoiren, vor allem bei hohen Atemminutenvolumina, keine maximalen Sauerstoffkonzentrationen erreicht werden. Lediglich bei Hubvolumina, die dem Volumen des Faltenbalgs entsprechen, kann die inspiratorische Sauerstoffkonzentration bei diesem Reservoirtyp gesteigert werden. [...] Was das Handling betrifft, so ist ein Beutelreservoir, welches am Ende des Beutels konnektiert wird, am einfachsten in der Anwendung. Faltenbalgreservoir stören extrem bei der manuellen Beatmung durch ihr deutlich höheres



Gewicht. Bei Maskenbeatmung werden diese Reservoirs als Behinderung empfunden. Die wesentlich leichteren Beutelreservoirs stören nicht und behindern die Beatmung nur unwesentlich. [...] Ein paradoxer Effekt zeigt sich bei der Verwendung eines Reservoirs mit dem „Söhngen-Beutel“. Neben einer deutlichen Behinderung bei der Beatmung nimmt die inspiratorische Sauerstoffkonzentration mit Reservoir ab. Eine Erklärung hierfür ist, daß dem offenen Reservoir kontinuierlich Raumluft beigegeben wird, wobei Sauerstoff nicht mehr direkt in die Kompressionseinheit gelangt, sondern lediglich in das Faltenbalgreservoir.

Eine weitere Variante bei der Sauerstoffzufuhr bietet der „Weinmann-Beutel“. Hier wird die Sauerstoffzufuhr über einen im Faltenbalg gelegenen PVC-Schlauch ermöglicht, ein Reservoirereffekt ist bei niedrigen Atemminutenvolumina messbar. Bei hohen Atemminutenvolumina zeigt sich auch beim Weinmann-Beutel ein negativer Effekt, da durch die Beimischung von Raumluft, ähnlich wie beim Söhngen-Beutel, die inspiratorischen Sauerstoffkonzentrationen sinken. Der Effekt ist nicht so ausgeprägt wie bei Söhngen, da die Sauerstoffzufuhr über den im Faltenbalg gelegenen PVC-Schlauch unmittelbar vor der Kompressionseinheit erfolgt.“

Bei den Beutelreservoirs sollte man prinzipiell beachten, dass zunächst eine ausreichende Füllung des Reservoirs erfolgt, um möglichst rasch die maximalen Sauerstoffkonzentrationen zu erreichen. So dauert es bis zu 90 Sekunden bis bei nicht gefülltem Reservoir die gleichen inspiratorischen Sauerstoffkonzentrationen erreicht werden, wie bei gefülltem Reservoir. Eine Besonderheit stellt der aktuelle Beatmungsbeutel der Firma Dräger dar, der auf den ersten Blick keinerlei Anschlussmöglichkeit für Sauerstoff bietet. In der Tat ist dieser Beutel nur dann für den Tauchnotfall geeignet, wenn er in Kombination mit dem Demandsystem von Dräger benutzt wird (12). Dann allerdings in guter Weise.

### ■ Demandsysteme

Demandsysteme funktionieren prinzipiell wie ein beim Tauchen be-

nutzter Lungenautomat: Ein mit der Druckgasflasche verschraubter Druckminderer reduziert den Druck des ausströmenden Gases. Dieses wird dann über einen Mitteldruckschlauch zum Einatemventil geleitet, welches den Gasfluss atm- und bedarfsgesteuert freigibt. Wegen dieser Analogie zum Tauchgerät und der einfachen Handhabung sind diese Geräte unter Tauchern als Notfallsysteme weit verbreitet. Erstaunlicherweise finden sich kaum Studien zu Demandsystemen. Der Grund liegt wahrscheinlich in ihrer klaren Konzeption und der Annahme, dass, wenn das System als solches dicht ist und in der Versorgungsflasche 100% Sauerstoff enthalten ist, das Einatemgas auch entsprechend nahezu 100% Sauerstoff enthalten muss. Unter der Voraussetzung, dass diese Prämissen stimmen, ist das auch in der Regel der Fall (2, 5, 6). Genau wie beim Tauchgerät sollte daher auch bei diesen Systemen vor Gebrauch eine kurze Dichtigkeitsprüfung erfolgen.

Grundsätzlich kann also festgehalten werden, dass bei Verwendung gut sitzender Masken und Abwesenheit von Leckagen Demandsysteme für die Sauerstoffnotfallversorgung von Tauchunfällen gut brauchbar sind.

### ■ Sauerstoffkreislaufsysteme

Sauerstoffkreislaufsysteme waren ebenfalls Gegenstand von Tests (2, 10). Der Grund liegt in der höheren Komplexität des Systems und die dadurch bedingte theoretisch erhöhte Gefahr der Fehlerquellen. Insgesamt ist es jedoch so, dass aufgrund der Testergebnisse auch den Kreislaufsystemen eine gute Brauchbarkeit in der Praxis bescheinigt werden kann.

Im Hinblick auf die Sauerstoffausnutzung sind sie konkurrenzlos, da durch das quasi „Recyclen“ des ansonsten ungenutzt durch die Ausatemluft abgegebenen Sauerstoffs extrem lange Sauerstoffatemzeiten zu erreichen sind (10). Auf den ersten Blick ein wenig enttäuschend ist die Tatsache, dass mit einem Kreissystem selbst bei optimal sitzender Maske bauartbedingt 100% Sauerstoff in der Einatemluft nicht er-

reicht werden können (2). Dies ist aber nur ein scheinbares Manko, weil es sich hier – optimaler Maskensitz und leakagefreies Gerät vorausgesetzt – nicht um eine Undichtigkeit mit Beimischung von Umgebungsluft handelt, sondern eine Besonderheit des Kreislaufprinzips darstellt: die Ausatemluft enthält nämlich nicht nur Sauerstoff und Kohlendioxid, sondern sie ist auch wasserdampfgesättigt (10). Dieser Wasserdampf beziehungsweise der Dampfdruck wirkt sich natürlich auf die Daltonsche Partialdruckgleichung aus, nach der der Gesamtdruck eines Gasgemisches der Summe der Partialdrücke der Einzelkomponenten entspricht. Und während das Kohlendioxid im Atemkalk chemisch gebunden wird, verbleibt der Wasserdampf im System. Der vermeintliche Fehler hat somit keine Auswirkung auf die Stickstoffelimination und eine zu vernachlässigende auf die Oxigenation (10). Ebenfalls im System verbleibt die Wärme, die auch über die Atmung abgegeben wird (10). Dieser Effekt verstärkt sich noch durch die exotherme Reaktion bei der CO<sub>2</sub>-Bindung durch den Atemkalk. Je nach Fragestellung des Tests kann sich dieser Umstand sowohl positiv als auch negativ im Testergebnis niederschlagen, denn warmes Atemgas kann ebenso sehr erwünscht wie unangenehm sein – je nachdem, wo der spätere Einsatz stattfinden soll.

Zusammenfassend kann aber festgehalten werden, dass solche Sauerstoffkreislaufsysteme auch für Laien gut geeignet sind, aber prinzipiell eine bessere Schulung und mehr Übung erfordern, als die sehr einfach zu handhabenden Demandsysteme (10).

### Literatur bei der Redaktion

#### Anschrift des Verfassers

Dr. med. Claus-Martin Muth  
Universitätsklinik für Anästhesiologie  
Sektion Anästhesiologische Pathophysiologie und Verfahrensentwicklung  
Universität Ulm  
Parkstraße 11  
89073 Ulm