

Atemwegsmanagement

Invasives Atemwegsmanagement Update 2011



Marek Humpich • Christian Byhahn

Trotz kontinuierlicher Entwicklung und Verbesserung von Hilfsmitteln bleibt das invasive Atemwegsmanagement eine Herausforderung auch für ansonst in der Atemwegssicherung geübte Intensiv- und Notfallmediziner. Insbesondere in Notfallsituationen trifft man auf Patienten mit eingeschränkten pulmonalen und kardialen Reserven, bei denen die kritische Zeitkomponente und der damit verbundene Stress das Management verkomplizieren. Der folgende Artikel beschreibt aktuelle Techniken des invasiven Atemwegsmanagements unter Berücksichtigung verschiedener klinischer Situationen und berichtet über neue Entwicklungen auf diesem Gebiet.

Elektiv auf Intensivstation: Punktionstracheotomie

Goldstandard Die Punktionstracheotomie kann unabhängig von der verwendeten Technik als der gegenwärtige Goldstandard im Atemwegsmanagement längerfristig beatmeter Intensivpatienten angesehen werden [1, 2].

- ▶ Alle heute verwendeten Punktionsverfahren basieren auf der Seldinger-Technik.

Die einzelnen Techniken (☞ Tab. 1) unterscheiden sich lediglich darin, wie Dilatation und Einführung der Kanüle vorgenommen werden. Bezüglich des Auftretens schwerer und mittelschwerer Komplikationen bei der Punktionstracheotomie (insgesamt 0,5–3,5%) sind nach aktuellem Stand der Literatur keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Techniken zu erkennen [3].

Seldinger-Technik Die Seldinger-Technik umfasst folgende Schritte:

- ▶ Punktion der Trachea
- ▶ Einlegen des Führungsdrahtes in die Trachea
- ▶ Dilatation von Weichteilen und Trachea
- ▶ Einführen der Kanüle in die Trachea

Eine interessante, neue Variante des Schrittes der Dilatation ist die Blue-Dolphin-Methode [4] (siehe unten).

Unterschiede bei der Dilatation Alle Techniken der Tracheotomie folgen dem gleichen Prinzip. In

einem 1. Schritt wird die Trachea mit einer Nadel punktiert. Es folgt das Einlegen des Führungsdrahtes.

Den meisten Spielraum zur Modifikation bietet die Dilatation der die Trachea umgebenden Weichteile als auch der Trachea selbst. Aktuell erhältliche Sets bedienen sich hierbei verschiedener Techniken.

- ▶ Das PDT-Set (perkutane Dilatationstracheotomie, Cook Deutschland) sieht eine antegrade Mehrschrittdilatation mit bis zu 7 Dilatoren vor.
- ▶ Beim GWDF-Set (Guidewire Dilating Forceps, SIMS Portex) hingegen wird dieser Schritt durch eine ebenfalls antegrade, aber nur 2-stufige Dilatation mittels eines modifizierten Howard-Kelly-Spreizers gelöst.
- ▶ Eine einstufige, antegrade Dilatation ist mit dem konisch geformten Dilator aus dem CBR-Set (Ciaglia Blue Rhino) möglich.
- ▶ Bei der TLT (translaryngeale Tracheotomie, Tyco Healthcare) wird die Dilatation retrograd mit der Trachealkanüle selbst vollzogen.
- ▶ Beim PercuTwist (Rüsch) erfolgt die Stomaanlage antegrad mit einer selbstschneidenden Plastikschrabe.

Die Punktionstracheotomie kann unabhängig von der verwendeten Technik als der gegenwärtige Goldstandard im Atemwegsmanagement längerfristig beatmeter Intensivpatienten angesehen werden.

Blue-Dolphin-Technik Einen neuen Weg geht die Blue-Dolphin-Technik (Ciaglia Blue Dolphin, Cook). Hier erfolgt die antegrade Dilatation nicht über die manuelle Kraftübertragung der Hand auf den Dilator, sondern radiär über einen speziellen Ballon, der unter Manometer-Kontrolle mit Flüssigkeit gefüllt wird.

Im Folgenden soll diese Technik eingehender beleuchtet und der grundsätzliche Ablauf einer perkutanen Dilatationstracheotomie rekapituliert werden.

Vorgehen

Unbehinderte Sicht auf Glottis sicherstellen

Wie alle perkutanen Dilatationstechniken kann auch die Blue-Dolphin-Methode bettseitig auf der Intensivstation unter obligater kontinuierlicher bronchoskopischer Kontrolle in Allgemeinanästhesie und Relaxierung durchgeführt werden.

- ▶ Zuvor muss eine unbehinderte Sicht auf die Glottis durch direkte Laryngoskopie bestätigt werden, um im Falle von Komplikationen einen sicheren Atemweg mittels Tubus etablieren zu können.

Somit unterscheidet sich der grundsätzliche Ablauf nicht von dem anderer antegrader Punktions-techniken.

Nach Desinfektion und steriler Abdeckung des Punktionsfeldes wird die Punktionsstelle mit einem Lokalanästhetikum (z. B. 5–10 ml Mepivacain 2%) mit Adrenalinzusatz (1:200 000) infiltriert.

Zurückziehen des Trachealtubus Vor dem eigentlichen Punktionsvorgang wird der noch liegende Trachealtubus unterhalb der Glottis unter bronchoskopischer Kontrolle zurückgezogen. Wenn man das Bronchoskop in den zurückgezogenen Tubus einführt, besteht das Risiko, die Fiberoptik des Bronchoskops mit der Punktionsnadel zu beschädigen.

- ▶ Die Spitze des Bronchoskops muss daher auf alle Fälle im Tubuslumen bleiben.

Selbst dann besteht aber noch ein geringes Risiko, das Bronchoskop mit der Nadel durch den ungewollt zu tief, nämlich im Bereich der Punktionsstelle liegenden Tubus hindurch zu beschädigen.

Alternative Larynxmaske Alternativ kann man daher den Tubus komplett entfernen und eine Larynxmaske einlegen. Die Larynxmaske hat 2 Vorteile:

- ▶ Das Bronchoskop ist direkt im Larynx platziert und damit vor der versehentlichen Beschädigung mit der Punktionsnadel durch den Tubus hindurch geschützt.
- ▶ Durch die Platzierung des Bronchoskops im Larynx werden die Larynxstrukturen besser visualisiert.

Somit wird die Punktions eines freien Tracheallumens gewährleistet.

Techniken der Punktions-tracheotomie

Technik	Charakteristika	Hersteller
PDT	antegrade Mehrschrittdilatation mit bis zu 7 Dilatoren	Cook Deutschland GmbH
GWDF	antegrade, 2-stufige Dilatation mittels modifiziertem Howard-Kelly-Spreizer	SIMS Portex Ltd.
TLT	retrograde Einschriddilatation mit der Trachealkanüle selbst	Tyco Healthcare
CBR	antegrade Einschriddilatation mit einem konisch geformten Dilator	Cook Deutschland GmbH
PercuTwist	antegrade Stomaanlage mit einer selbst-schneidenden Plastikschaube	Rüsch
Blue Dolphin	antegrade Dilatation mittels Ballonpumpe	Cook Deutschland GmbH

Punktions Es folgt eine ca. 15 mm lange Hautinzision und das subkutane Gewebe wird stumpf präpariert.

Die Punktions der nun identifizierten Trachea erfolgt in der Mittellinie zwischen der 2. und 3. Trachealspange mit einer 18 G-Kanüle. Die korrekte intraluminal Lage wird sowohl durch Aspiration von Luft in eine mit NaCl gefüllte Spritze, als auch mittels Bronchoskopie verifiziert.

Einlegen des Führungsdrahtes In klassischer Seldinger-Technik wird danach ein Führungsdraht platziert und der Punktionskanal mit Hilfe eines 14-French-Dilatators erweitert. Nach Entfernung der Kanüle wird die Einheit, bestehend aus

- ▶ dem noch komprimierten Dilatationsballon,
 - ▶ dem Einführdilator (Abb. 1) und
 - ▶ der Trachealkanüle,
- über den Seldinger-Draht eingeführt.
- ▶ Dabei sollte der vorangehende Ballonkatheter 1–2 cm in das Tracheallumen hineinragen und 1–2 cm über dem Hautniveau zum Liegen kommen.

Dilatation Die entscheidende Dilatation des für die Platzierung der Trachealkanüle notwendigen Kanals erfolgt über eine Inflationspumpe. Diese ist mit 20 ml 0,9%-iger NaCl-Lösung gefüllt und wird an den Ballonkatheter angeschlossen.

Tab. 1 In Deutschland eingesetzte Techniken der Punktions-tracheotomie (in Anlehnung an [24]).

PDT = perkutane Dilatations-tracheotomie,
GWDF = Guidewire Dilating Forceps,
TLT = translaryngeale Tracheotomie,
CBR = Ciaglia Blue Rhino.

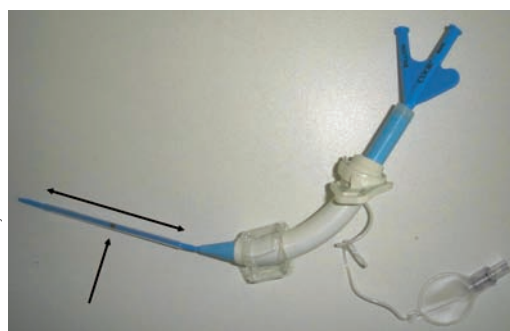


Abb. 1 (links) Blue-Dolphin-Set. Zu sehen ist die Einheit aus Einführdilator, Ballonpumpe und dem Tracheostoma.

Abb. 2 (rechts) Der Schritt der Dilatation bei der Blue-Dolphin-Technik. Mittels flüssigkeitsgefüllter Ballonpumpe werden unter Manometer-Kontrolle die Trachea und das umliegende Weichteilgewebe dilatiert.

- ▶ Der Katheter wird per Hand bis zu einem Maximaldruck von 11 atm mit NaCl gefüllt und für 5–15 s gehalten (◉ Abb. 2).

Die hierdurch entstehenden Radiarkräfte bewirken die notwendige Dilatation. So kann im letzten Schritt die Trachealkanüle nach Deflation des Ballons problemlos unter leichtem Kraftaufwand platziert werden.

Der Einführdilator, der Ballonkatheter und der Führungsdraht werden als Einheit wieder entfernt und die korrekte Lage des Tracheostomas bronchoskopisch kontrolliert. Die das Tracheostoma umgebende Haut legt sich diesem abschließend unmittelbar wieder elastisch an.

Bei der Blue-Dolphin-Methode erfolgt die Dilatation der Trachea und der umliegenden Weichteile antegrad radiär über einen speziellen, mit NaCl gefüllten Ballon.

Potenzielle Vorteile der Blue-Dolphin-Technik



Weniger Zeit und Arbeitsschritte Die größten Gefahren bei der perkutanen Dilatationstracheotomie liegen in der Verletzung der hinteren Trachealwand und einer durch die Dilatation selbst induzierten Blutung [2]. Daher versuchen alle neuen Techniken, genau diese Risiken durch Modifikation des Dilatationsvorganges zu reduzieren.

Da das Blue-Dolphin-Set praktisch eine Einheit darstellt, wird die Zeit zwischen Dilatation und Einsetzen der Trachealkanüle auf wenige Sekunden beschränkt. Die Gefahr des Atemwegsverlusts wird zudem durch insgesamt weniger Arbeitsschritte weiter reduziert.

Geringeres Blutungs- und Verletzungsrisiko Bis zum Einsetzen der Trachealkanüle wird das

durch den Ballon geschaffene Stoma durch diesen praktisch solange austamponiert, bis die den Druck von 11 atm erzeugende Flüssigkeit wieder abgelassen wird und anschließend ohne echte Verzögerung die Trachealkanüle platziert werden kann.

- ▶ Die dabei induzierte Gewebeschämie am zirkulären Rand des Stomas verringert die Blutung und hält das Stoma aufgrund eines verzögerten Kollapses für 10–15 s offen.

Die Möglichkeit, den Dilatationsvorgang über einen Manometer gesteuert kontrolliert ablaufen zu lassen, zielt darauf, versehentliche, manuelle überschießende Kraftübertragungen zu vermeiden, um so der Gefahr der unkontrollierten Penetration und Verletzung der hinteren Trachealwand entgegenzuwirken.

Noch nicht evidenzbasiert Für diese Annahmen fehlt allerdings bisher die Evidenz. Zwar gilt die Blue-Dolphin-Technik inzwischen als einfach und sicher. Die erhofften Vorteile gegenüber der an den meisten Standorten bevorzugten einstufigen Blue-Rhino-Technik konnten in einer aktuellen prospektiv randomisierten Studie an 70 konsekutiven Patienten jedoch nicht belegt werden [5]. Im Gegenteil:

- ▶ Sowohl die Gesamtdauer der Prozedur als auch die Anzahl der (primär klinisch nicht relevanten) trachealen Blutungen waren bei den durch die Blue-Rhino-Technik tracheotomierten Patienten signifikant niedriger.

Die Autoren der Studie räumen dabei selbst ein, dass möglicherweise die Zeitunterschiede auf die insgesamt geringere Erfahrung mit dem Dolphin-Set zurückzuführen sind.

Daher kann zusammenfassend die Blue-Dolphin-Technik als praktikabel und sicher angesehen werden, ohne bisher jedoch einen evidenten Vorteil gegenüber den alternativen Einschnittdilator-Techniken aufweisen zu können.

Die Blue-Dolphin-Technik ist sicher und praktikabel, ohne bislang jedoch klare Vorteile gegenüber den anderen Punktionstechniken aufweisen zu können.

Zeitpunkt der Tracheotomie



Früh oder spät? Die Zahl der langzeitbeatmeten Patienten hat in den letzten Jahren stetig zugenommen [6]. Parallel dazu stieg auch die Anzahl der Tracheotomien [7]. Ungeachtet einer Vielzahl an Publikationen herrscht jedoch weiterhin keine evidenzbasierte Empfehlung zum optimalen Zeitpunkt des Eingriffs.

Frühe Tracheotomie Im Jahre 2004 führten Rumbak et al. eine vielzitierte Studie an 120 internistischen Patienten durch. Dabei konnten sie

Tab. 2 Vorteile der Tracheotomie im Vergleich zu einer prolongierten Intubation.

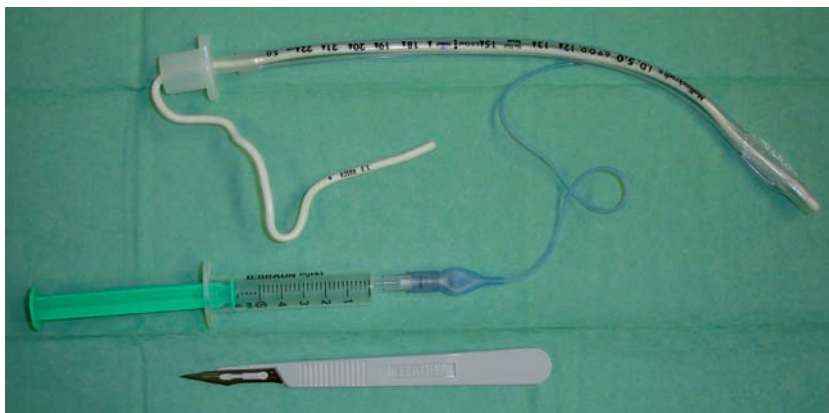
Vorteile der Tracheotomie

generelle Vorteile

- ▶ reduzierter Atemwegswiderstand
- ▶ reduzierte Atemarbeit
- ▶ verbesserte Mund- und Trachealtoilette
- ▶ geringer bis komplett unnötiger Einsatz der Analgosedierung zur Toleranz des künstlichen Atemwegs
- ▶ Möglichkeit der verbalen Kommunikation bei Verwendung von Sprechkanülen
- ▶ höherer Patientenkomfort

Vorteile einer frühen Tracheotomie

- ▶ Vermeidung von laryngotrachealen Druckschäden durch mechanische Einwirkung des Endotrachealtubus
- ▶ Reduktion von Sinusitiden
- ▶ Reduktion der Tage mit künstlicher Beatmung
- ▶ Reduktion des notwendigen Aufenthaltes auf einer Intensivstation und somit frühere Verlegung auf Normalstation



Bildnachweis: Christian Byhahn



Bildnachweis: Christian Byhahn

zeigen, dass bei einer erwarteten Beatmungsdauer von > 14 Tagen eine frühe (< 48 h nach Intubation) im Vergleich zur verzögerten Tracheotomie (Tag 14–16) signifikant

- ▶ die Letalität,
- ▶ die Rate an ventilatorassoziierten Pneumonien (VAP) und
- ▶ die Anzahl der Beatmungstage reduzieren kann [8].

In den Folgejahren konnten diese Daten jedoch an weiteren, auch chirurgischen Kollektiven nicht reproduziert werden [9].

Kaum Unterschiede Eine aktuelle prospektive, randomisierte Multicenterstudie untersuchte an 419 gemischt internistisch-/chirurgischen Patienten den primären Endpunkt VAP am 28. Tag [10]. Auch hier blieb ein signifikanter Unterschied zwischen der frühen (Tag 6–8) und späten (Tag 13–15) Gruppe tracheotomierter Patienten aus.

- ▶ Die Beatmungs- und Intensivtherapiedauer hingegen war bei der frühen Tracheotomie signifikant reduziert.

Kein Unterschied zeigte sich bezüglich des Überlebens am 28. Tag.

Keine generelle Empfehlung Somit muss auch unter Berücksichtigung der aktuellen Evidenz Folgendes festgehalten werden:

- ▶ Im Hinblick auf die Reduktion von VAPs und die Vermeidung von Tod kann eine generelle Empfehlung zur möglichst frühen Tracheotomie für den „interdisziplinären Intensivpatienten“ unabhängig von der Grunderkrankung nicht gegeben werden.
- ▶ Durch eine frühe Tracheotomie werden Beatmungs- und Intensivtherapiedauer signifikant reduziert. Daher sollte bei einer erwarteten Beatmungsdauer von > 14 Tagen eine (Früh-)Tracheotomie erwogen werden. Die belegbaren Vorteile der (Früh-)Tracheotomie sind in [Tab. 2](#) zusammengefasst.
- ▶ Welche Patientenkollektive (internistisch, chirurgisch, neurologisch, traumatologisch etc.) von einer Frühtracheotomie profitieren könnten, ist aus den aktuellen Daten nicht zu beantworten.

- ▶ Oft kann die notwendige Beatmungsdauer nicht akkurat abgeschätzt werden, sodass bei vielen Patienten täglich das Risiko/Nutzenverhältnis einer Tracheotomie individuell für den betroffenen Patienten abgewogen werden muss, unter besonderer Berücksichtigung der Grunderkrankung und des Therapieverlaufs.

Aktuell liegt keine ausreichende Evidenz für eine generelle Empfehlung der Früh-Tracheotomie vor.

Im Notfall: Koniotomie

Bei Erwachsenen und Jugendlichen Die Koniotomie ist der chirurgisch-invasive Atemweg der Wahl in „Cannot-intubate-cannot-ventilate“-Situationen bei Jugendlichen und Erwachsenen. Bei dieser Methode bringt man einen Tubus bzw. eine Kanüle durch die Membrana cricothyroidea in die Trachea ein. In Deutschland stehen verschiedene industriell gefertigte Sets zur Verfügung, die entweder auf dem Dilatationsprinzip in Seldinger-Technik oder dem Einschnittverfahren beruhen [11].

Nur unzureichend praktische Übung Die Koniotomie ist ein Notfalleingriff an den Atemwegen in einer akut lebensbedrohlichen Situation. Sie wird – im Gegensatz zur Tracheotomie – niemals elektiv durchgeführt und kann daher auch nur unzureichend praktisch geübt werden. Training am Phantom schult den Umgang mit dem Material, ist jedoch nur ein unzureichender Ersatz für die klinische Erfahrung und das Lernen am Patienten.

- ▶ In der Praxis kann es daher vorkommen, dass der Arzt diesen Eingriff erstmals in einer lebensbedrohlichen Notfallsituation vornehmen muss und dabei mit Geräten konfrontiert wird, die ihm aus dem klinischen Alltag nicht vertraut sind.

Darüber hinaus sind Koniotomie-Sets häufig nicht dort verfügbar, wo sie im Notfall benötigt werden. Üblicherweise werden sie – auch in größeren Organisationseinheiten wie OP-Trakt

Abb. 3a (links) Für die chirurgische Koniotomie benötigt man lediglich ein Skalpell Nr. 11 sowie einen blockbaren Endotrachealtubus 5 mm mit Führungsstab.

Abb. 3b (rechts) Nach Eröffnung der Trachea über die Membrana cricothyroidea wird der Endotrachealtubus eingelegt.

oder Intensivstation – an einer zentralen Stelle vorgehalten.

- ▶ Zur Vereinfachung des Managements in Notfallsituationen sollte daher mit Material gearbeitet werden, dass zum einen vertraut und zum anderen überall und jederzeit verfügbar ist.

Die Koniotomie ist der chirurgisch-invasive Atemweg der Wahl in Cannot-intubate-cannot-ventilate-Situationen bei Jugendlichen und Erwachsenen.

Chirurgisches Vorgehen

▼ **Inzision** Zur chirurgischen Koniotomie benötigt man lediglich

- ▶ ein Skalpell mit spitzer Klinge (Nr. 11) sowie
- ▶ einen blockbaren Endotrachealtubus der Größe 5 mm mit Führungsstab (◊ Abb. 3a).

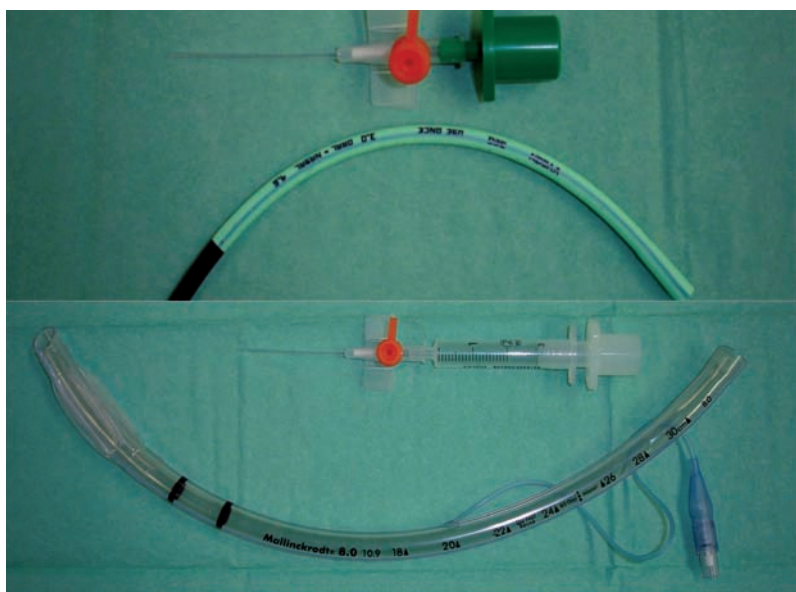
Zunächst wird die Haut über der Membrana cricothyroidea mit dem Skalpell längs inzidiert (3 cm). Danach folgt die Membran selbst, und zwar horizontal nach digitaler Identifikation mit der spitzen Skalpellklinge.

Anschließend weitet man die Inzision mit dem abgerundeten Plastikhandgriff des Skalpells auf.

Einführen des Tubus Nach Einführen des Skalpellgriffs in die Trachea wird dieser mehrmals hin und her gedreht und dann in situ in vertikaler Position belassen, um Schild- und Ringknorpel auseinander zu drängen. Jetzt lässt sich ein Endotrachealtubus (5 mm Durchmesser) einführen, der mit einem Mandrin verstärkt sein muss. Er wird vorgeschoben, bis der Cuff verschwindet, und dann geblockt (◊ Abb. 3b).

Um das Aufspreizen der Tracheaöffnung zu erleichtern, kann man anstelle des Skalpellgriffs auch ein Nasenspekulum benutzen.

Abb. 4 Eine transtracheale Ventilation kann mittels einer 14 G-Venenverweilkanüle und eines Tubusadapter eines 3 mm-Endotrachealtubus initiiert werden (oben). Alternativ kann auch der Körper einer 2 ml-Spritze und der Konnektor eines 8 mm-Endotrachealtubus verwendet werden (unten).



Bildnachweis: Christiane Byhahn

Für eine erfolgreiche Koniotomie beim respiratorischen Notfall sind 3 Dinge entscheidend:

- ▶ die rechtzeitige Indikationsstellung,
- ▶ die Erfahrung mit dem jeweils verfügbaren Material und
- ▶ der Mut, zu handeln.

Im Notfall: transtracheale Jetventilation

Bei Säuglingen und Kindern Die transtracheale (Jet-)Ventilation ist das invasive Verfahren der Wahl bei Cannot-intubate-cannot-ventilate-Situationen im Säuglings- und Kindesalter. Sie kann aber auch bei Erwachsenen erfolgen [12], wenn eine Koniotomie aus logistischen oder praktischen Gründen nicht zeitgerecht durchgeführt werden kann.

Bei der transtrachealen Jetventilation wird Sauerstoff über einen Katheter insuffliert, den man per Punktion über die Membrana cricothyroidea in die Trachea einlegt. Dies ist sowohl manuell als auch mit kommerziell erhältlichen Jetventilatoren möglich. Letztere stehen jedoch im Notfall meist nicht zu Verfügung und erfordern insbesondere beim Einsatz an Kindern entsprechende Erfahrung.

Bei der transtrachealen Jetventilation wird Sauerstoff über einen Katheter insuffliert, den man per Punktion über die Membrana cricothyroidea in die Trachea einlegt.

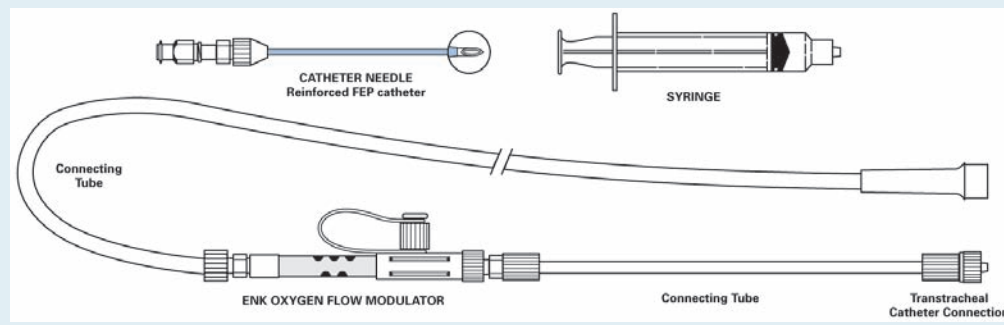
Vorgehen

▼ **Tracheapunktion** Zur Punktion der Trachea kann im Notfall eine handelsübliche 14 G-Venenverweilkanüle verwendet werden, auch wenn dabei die Gefahr besteht, dass diese durch Erwärmung im Gewebe sehr leicht zusammengedrückt und abgeknickt werden kann [13]. Nach erfolgreicher Punktion (Bestätigung durch Luftaspiration in eine flüssigkeitsgefüllte Spritze) lässt sich Sauerstoff über den Luer-Lock-Anschluss der Venenverweilkanüle insufflieren.

Inkompatibilität zwischen Kanüle und Sauerstoffleitung Allerdings sind Venenverweilkanüle und Sauerstoffleitung häufig inkompatibel. Daher kann man an den Konnektor der Venenverweilkanüle entweder

- ▶ den Tubuskonnektor eines 3 mm-ID-Endotrachealtubus oder
- ▶ den Kolben einer 2 ml-Spritze anschließen.
- ▶ In diesen wird wiederum der Konnektor eines 8 mm-ID-Endotrachealtubus eingesetzt (◊ Abb. 4).

Gesamtes Set des Enk-Oxygen-Flow-Modulators



Bildnachweis: Enk Flow Modulator – Image courtesy of Cook Medical, Bloomington, IN, USA



Bildnachweis: Enk Flow Modulator – Image courtesy of Cook Medical, Bloomington, IN, USA

Abb. 5a (links) Schema-Zeichnung des Enk-Oxygen-Flow-Modulator-Sets.

Abb. 5b (oben) Enk-Oxygen-Flow-Modulator.

Mit dieser Vorgehensweise können nahezu überall verfügbare Materialien an ein Beatmungsgerät oder einen Handbeatmungsbeutel angeschlossen werden.

Bei Verwendung handelsüblicher 14 G-Venenverweilkanülen besteht die Gefahr, dass diese durch Erwärmung im Gewebe sehr leicht zusammengedrückt und abgeknickt werden können.

Strömungswiderstand Trotz der einfachen und relativ sicheren Punktionstechnik ist die Frage, wie die Oxygenierung und Ventilation über eine Kanüle mit kleinem Lumen am effektivsten gewährleistet werden kann, nicht hinreichend beantwortet.

Ein großer Nachteil des durch die Verwendung einer Kanüle resultierenden kleinen Lumens ist der Strömungswiderstand. Dieser erfordert einen hochfrequenten und zugleich ausreichend hohen Beatmungsdruck, um einen adäquaten Gasfluss zu erreichen.

Gefahr des Barotraumas Bei transtrachealen Ventilationsverfahren ist zudem ein Abströmen der Expirationsluft über die oberen Atemwege essenziell, um die Elimination von CO_2 zu gewährleisten und die Gefahr eines Barotraumas zu minimieren. Gerade in einer Cannot-intubate-cannot-ventilate-Situation kann aber nie sichergestellt werden, dass keine Obstruktion der oberen Atemwege vorliegt bzw. ob ein geblockter oberer Atemweg nach Initiierung einer Hochdruck-Jetventilation wieder eröffnet oder weiterhin geschlossen bleibt.

► Eine bestehende Obstruktion der oberen Atemwege, eine nicht ausreichend lange Expirationszeit oder gar die Kombination von beidem kann in einer Luftfalle („Air trapping“) mit daraus resultierendem Barotrauma und hämodynamischer Instabilität münden.

Bei transtrachealen Ventilationsverfahren ist ein Abströmen der Expirationsluft über die oberen Atemwege essenziell, um die Elimination von CO_2 zu gewährleisten und die Gefahr eines Barotraumas zu minimieren.

Expirationszeit Bei der Jetventilation ergibt sich die für das passive Abströmen der Luft benötigte Zeit aus

- dem Strömungswiderstand des oberen Luftweges (bestimmt durch den Durchmesser und die Länge) und
 - der Triebkraft (bestimmt durch die Compliance des respiratorischen Systems, die sich aus der Elastizität der Lunge und des Brustkorbs ergibt).
- Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Tatsache, dass sich ab einem Durchmesser des natürlichen oder künstlichen Atemwegs von weniger als 4 mm die für den passiven Abstrom benötigte Expirationszeit exponentiell verlängert [14].
- Die Gefahr der Luftfalle wird umso wahrscheinlicher, je kürzer die Expirationszeit in Relation zum Durchmesser und der Länge des Ausflusstraktes ist [14, 15].

Dabei ist die Änderung des Inspiration/Expiration-Verhältnisses zugunsten der Expiration oft eine unzureichende Maßnahme.

Enk-Oxygen-Flow-Modulator-Set Das industriell gefertigte Enk-Oxygen-Flow-Modulator-Set (Cook Deutschland GmbH, ◉ Abb. 5a und 5b) ist das aktuell praktikabelste kommerziell erhältliche Produkt. Es ist vor allem in Notfallsituationen einfach und schnell zu handhaben.

Es beinhaltet eine Punktionskanüle mit 2 mm ID und 50 oder 75 mm Länge sowie den Flow-Modulator. Diesen konnektiert man mit der Punktions-trachealkanüle sowie mit einer Sauerstoffquelle (z. B. an den Druckminderer der O_2 -Flasche).

- Mit einem modifizierten Fingertip kann über 3 vorder- und 2 rückseitig angebrachte Öffnungen manuell die Intensität des Sauerstoffstroms gesteuert und so eine Jetventilation imitiert werden.
- Zudem erlaubt ein Zuspritzventil die Gabe von Medikamenten in den Jetstrom.



Abb. 6 (links) SBP07-Injektor.

Bildnachweis: Hamaekers AEW et al. Ventilation through a small-bore catheter: optimizing expiratory ventilation assistance. Br J Anaesth 2011; 106 (3): 403–409; by permission of Oxford University Press

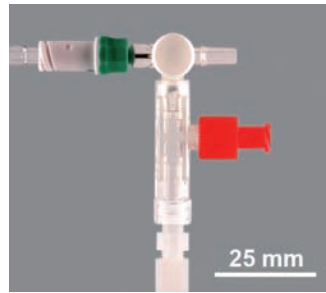


Abb. 7 (rechts) DE 5-Injektor.

Vorteile gegenüber anderen Systemen Der Enk-Oxygen-Flow-Modulator (EFM) ist ein offenes System, durch das Expirationsluft abströmen kann, solange nicht alle 5 Öffnungen verschlossen werden. In Bezug auf die Oxygenierung hat sich der EFM gegenüber der manuellen Beatmungseinheit Manujet-III (VBM Medizintechnik GmbH) als gleichwertig erwiesen.

- ▶ Hinsichtlich der CO₂-Elimination während der transtrachealen Jetbeatmung ist er dagegen signifikant überlegen [16].

Im Vergleich zu einem modifizierten Dreiweghahn, welcher nach aktuellen Empfehlungen im Notfall zur Jetventilation eingesetzt werden kann [17, 18], bietet der EFM bei einer kompletten Verlegung der oberen Atemwege eine suffizientere Sicherstellung des Abstroms der Expirationsluft [19, 20].

Die Arbeitsgruppe um die Anästhesisten Dietmar Enk und Ankie Hamaekers hat auf diesem Gebiet weitere, sehr interessante Fortschritte erarbeitet, die im Folgenden erläutert werden sollen.

Neue Entwicklungen



Bidirektionales Beatmungssystem Um der Problematik eines obstruierten oberen Atemwegs und eines daraus resultierenden Barotraumas entgegenzuwirken, entstand die Idee, ein bidirektional arbeitendes Beatmungssystem zu entwickeln. Dieses soll durch einen kleinlumigen Katheter sowohl die Applikation von Sauerstoff als auch die Elimination von Atemluft über ein einziges Lumen erlauben [19].

Wie bereits weiter oben beschrieben, ermöglicht die Compliance des respiratorischen Systems den passiven Abfluss der Atemluft durch einen kleinlumigen Katheter.

- ▶ Die Expiration ist jedoch deutlich eingeschränkt.

In den späten 70er-Jahren wurde daher versucht, die Expiration durch Applikation subatmosphärischer Drücken zu forcieren [21]. Diese Technik hat jedoch keinen Eingang in die klinische Routine gefunden.

Bernoulli-Prinzip Weitaus erfolgversprechender scheint die Idee, sich des Bernoulli-Prinzips zu bedienen. Dieses beschreibt die Beziehung zwischen der Fließgeschwindigkeit einer Flüssigkeit oder eines Gases und deren/dessen Druck.

- ▶ Danach wird ein Geschwindigkeitsanstieg in einem strömenden Gas von einem Druckabfall begleitet.

Vorbild aus der Industrie In der Industrie eingesetzte Ejektoren sind eine Art Strahlpumpen und können subatmosphärische Drücke nach dem Bernoulli-Prinzip erzeugen. Ähnlich wie bei einer Venturidüse kann strömendes Gas, das durch einen Ejektor fließt, ein anderes Gas durch einen seitlichen Kanal mitreißen.

Auf die Trachea übertragen bedeutet dies, dass durch einen entstandenen Unterdruck die Expiration durch Saugung akzentuiert wird.

- ▶ Entscheidend ist die Tatsache, dass mit diesem Prinzip die Expiration durch einen kleinlumigen Katheter unterstützt werden kann, ohne dass der obere Atemweg zwingend offen sein muss.

Durch Ejektoren, die nach dem Bernoulli-Prinzip konzipiert sind, kann die Expiration durch einen kleinlumigen Katheter unterstützt werden ohne zwingend offenen oberen Atemweg.

Modifizierter Ejektor DE 5 Hamaekers et al. konnten an einem In-vitro-Modell eines verschlossenen oberen Atemwegs zeigen, dass bei Verwendung des ursprünglich für die Industrie konzipierten Ejektors SBP07 (◉ Abb. 6) ein Minutenvolumen bis zu 6 l/min über einen 7,5 cm langen und 2 mm ID dicken transtrachealen Katheter erreicht werden kann [22].

Auf der Basis des industriellen SBP07 entwickelten die Autoren einen Ejektor DE 5 (◉ Abb. 7). Dieser beruht ebenfalls auf dem Bernoulli-Prinzip und soll bei Jetventilation durch einen kleinlumigen Katheter eine Unterstützung der Expiration ermöglichen [23].

- ▶ Im Vergleich zum SBP07 konnte mit Hilfe des DE 5 bei einem Fluss von 18 l/min ein adäquates Minutenvolumen von bis zu 8 l/min erreicht werden.

Im Gegensatz zum SBP07 ist der DE 5 von Grund auf als Ejektor für Notfallsituationen konzipiert. Sollten daher in naher Zukunft entsprechende klinische Prüfungen und Validierungen erfolgreich verlaufen, könnte dieses Instrument eine vielversprechende Bereicherung sein.

Fazit Das invasive Atemwegmanagement stellt hohe Anforderungen an den Anästhesisten oder Notfallmediziner. Auch bei ständiger Weiterentwicklung der Instrumentarien erfordern sowohl die elektiven wie auch notfalligen Verfahren ein ständiges Training und mentale Vorbereitung, um erfolgreich und komplikationsarm einen sicheren Atemweg auf der Intensivstation und in Notfallszenarien etablieren zu können. ◀



Dr. med. Marek Humpich ist Assistenzarzt an der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Universitätsklinikums Frankfurt. Zu seinen klinischen Schwerpunkten zählen die Notfall- und Intensivmedizin. E-Mail: m.humpich@em.uni-frankfurt.de



Prof. Dr. med. Christian Byhahn ist Leitender Oberarzt an der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Universitätsklinikums Frankfurt. Er habilitierte sich mit dem Thema „Die Punktionstracheotomie in der Intensivmedizin – Eine klinische Betrachtung fünf verschiedener Techniken“. E-Mail: c.byhahn@em.uni-frankfurt.de

Interessenkonflikt Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

VNR: 2760512011060003212

Literaturverzeichnis

- 1 Delaney A, Bagshaw SM, Nalos M. Percutaneous dilatational tracheostomy versus surgical tracheostomy in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 2006; 10: R55
- 2 Higgins KM, Punthakee X. Meta-analysis comparison of open versus percutaneous tracheostomy. *Laryngoscope* 2007; 117: 447–454
- 3 Byhahn C, Lischke V, Meiningner D et al. Peri-operative complications during percutaneous tracheostomy in obese patients. *Anaesthesia* 2005; 60: 12–15
- 4 Zgoda MA, Berger R. Balloon-facilitated percutaneous dilatational tracheostomy tube placement: preliminary report of a novel technique. *Chest* 2005; 128: 3688–3690
- 5 Cianchi G, Zagli G, Bonizzoli M et al. Comparison between single-step and balloon dilatational tracheostomy in intensive care unit: a single-centre, randomized controlled study. *Br J Anaesth* 2010; 104: 728–732
- 6 Zilberberg MD, Luippold RS, Sulsky S et al. Prolonged acute mechanical ventilation, hospital resource utilization, and mortality in the United States. *Crit Care Med* 2008; 36: 724–730
- 7 Cox CE, Carson SS, Holmes GM et al. Increase in tracheostomy for prolonged mechanical ventilation in North Carolina, 1993–2002. *Crit Care Med* 2004; 32: 2219–2226
- 8 Rumbak MJ, Newton M, Truncale T et al. A prospective, randomized, study comparing early percutaneous dilatational tracheostomy to prolonged translaryngeal intubation

Kernaussagen

- ▶ Die Punktionstracheotomie ist weiterhin der Goldstandard im Atemwegsmanagement langfristig beatmeter Intensivpatienten. Sie ist sicher bettseitig auf der Intensivstation möglich, sodass sie jederzeit und ohne für den Patienten belastenden Transport in den OP durchgeführt werden kann.
- ▶ Alle aktuell verwendeten Sets zur Punktionstracheotomie basieren auf der Seldinger-Technik und unterscheiden sich hauptsächlich im Schritt der Dilatation.
- ▶ Die Blue-Dolphin-Methode bedient sich eines speziellen Ballons, der unter Manometer-Kontrolle mit Flüssigkeit gefüllt wird und so eine Dilatation bewirkt.
- ▶ Eine klare Überlegenheit des einen oder anderen Sets zur Punktionstracheotomie konnte bislang nicht gezeigt werden.
- ▶ Der schwierige Atemweg ist eine absolute Kontraindikation für die Punktionstracheotomie. Daher muss im Vorfeld die Glottis mit dem Laryngoskop gut einsehbar sein.
- ▶ Durch eine frühe Tracheotomie kann die Dauer der künstlichen Beatmung und die Verweildauer auf der Intensivstation reduziert werden.
- ▶ Eine frühe Tracheotomie bringt keinen Vorteil im Hinblick auf die Reduktion der Letalität bei Intensivpatienten. Daher sollte der Zeitpunkt der Tracheotomie bei jedem Patienten täglich kritisch re-evaluiert werden.
- ▶ Bei Jugendlichen und Erwachsenen muss in Cannot-intubate-cannot-ventilate-Situationen bei Erfolglosigkeit oder fehlender Verfügbarkeit alternativer Atemwege rechtzeitig eine Koniotomie vorgenommen werden.
- ▶ Die transtracheale Jetventilation ist bei Säuglingen und Kleinkindern Mittel der Wahl in Cannot-intubate-cannot-ventilate-Situationen, kann aber auch bei Erwachsenen angewendet werden.
- ▶ Die damit verbundene Gefahr eines Barotraumas bei Verlegung der oberen Atemwege mit konsekutiver hämodynamischer Instabilität kann auf Basis erster experimenteller Daten möglicherweise durch die Verwendung von Ejektoren nach dem Bernoulli-Prinzip reduziert werden.

(delayed tracheotomy) in critically ill medical patients. *Crit Care Med* 2004; 32: 1689–1694

- 9 Durbn CG, Jr., Perkins MP, Moores LK. Should tracheostomy be performed as early as 72 hours in patients requiring prolonged mechanical ventilation? *Respir Care* 2010; 55: 76–87
- 10 Terragni PP, Antonelli M, Fumagalli R et al. Early vs. late tracheostomy for prevention of pneumonia in mechanically ventilated adult ICU patients: a randomized controlled trial. *JAMA* 2010; 303: 1483–1489
- 11 Mutzbauer TS, Keul W, Bernhard M et al. Invasive Techniken in der Notfallmedizin. *Anaesthesist* 2005; 54: 145–154
- 12 Henderson J, Popat M, Latta P et al. Difficult Airway Society guidelines. *Anaesthesia* 2004; 59: 1242–1243
- 13 Götz TU. Evaluation einer neuen Gasstrahlpumpe für die Beatmung durch kleine Lumina. Inaugural-Dissertation: Universitätsklinikum Münster; 2010

Literatur online

Das vollständige Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie im Internet:

Abonnenten und **Nichtabonnenten** können unter „www.thieme-connect.de/ejournals“ die Seite der AINS aufrufen und beim jeweiligen Artikel auf „Ergänzendes Material“ klicken – hier ist die Literatur für alle frei zugänglich.

Beitrag online zu finden unter <http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1286613>

CME-Fragen Invasives Atemwegsmanagement Update 2011

1 Welche Aussage zur Punktionstracheotomie ist falsch?

- A Die Punktionstracheotomie ist der Goldstandard im Atemwegsmanagement langfristig beatmeter Intensivpatienten.
- B Die Punktion wird in Seldinger-Technik durchgeführt.
- C Die Durchführung setzt die Anwesenheit eines Facharztes für Chirurgie voraus.
- D Die Punktion kann bettseitig auf Intensivstation erfolgen.
- E Ein bekannter schwieriger Atemweg ist eine Kontraindikation.

2 Welche Zuordnung von Punktionsset und Technik ist korrekt?

- A Blue Rhino – retrograde Einschrütdilatation mit der Trachealkanüle selbst
- B Blue Dolphin – antegrade Dilatation mittels flüssigkeitsgefülltem Ballon
- C PercuTwist – antegrade Mehrschrittdilatation mit bis zu 7 Dilatoren
- D GWDF (Guidewire Dilating Forceps) – antegrade Einschrütdilatation mit einem konisch geformten Dilator
- E PDT (Perkutane Dilatations-Tracheotomie) – antegrade Stomaanlage mit einer selbstschneidenden Plastikschrube

3 Welcher der folgenden Punkte wird im Rahmen einer Punktionstracheotomie nicht zwingend durchgeführt?

- A direkte Laryngoskopie zur Visualisierung der Glottis
- B kontinuierliche bronchoskopische Kontrolle während des gesamten Punktionsvorganges
- C erweitertes hämodynamisches Monitoring
- D Einlegen des Führungsdrahtes in die Trachea
- E Dilatation von Weichteilen und der Trachea

4 Welche Aussage zur Blue-Dolphin-Methode ist korrekt?

- A Die Blue-Dolphin-Methode ist im Vergleich zu den anderen verfügbaren Techniken als sicherste Technik einzustufen.
- B Bis auf den Schritt der Dilatation unterscheidet sie sich grundsätzlich nicht von den anderen antegraden Punktionstechniken.
- C Der Ballon der Inflationspumpe wird mit einem speziellen, dem Set beiliegenden Gas gefüllt.
- D Eine Verletzung der hinteren Trachealwand wird durch die Blue-Dolphin-Technik ausgeschlossen.
- E Blutungskomplikationen sind nie zu erwarten.

5 Welche Aussage zum frühen Zeitpunkt (6.–8. Tag) einer Tracheotomie bei langfristig beatmeten Patienten ist richtig?

- A Je eher eine Tracheotomie durchgeführt wird, desto weniger ist mit periprozeduralen Komplikationen zu rechnen.
- B Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma profitieren klar von einer frühen Tracheotomie.
- C Das Auftreten beatmungsassoziierter Pneumonien kann dadurch deutlich reduziert werden.
- D Die Verweildauer auf einer Intensivstation kann dadurch signifikant reduziert werden.
- E Bei einer erwarteten Beatmungsdauer von > 14 Tagen sollte auf eine frühe Tracheotomie verzichtet werden.

6 Welche Aussage zu „Cannot-intubate-cannot ventilate“-Situationen bei Jugendlichen und Erwachsenen ist richtig?

- A Eine apnoeische Oxygenierung mit hohem Sauerstofffluss (> 15 l) über eine Gesichtsmaske ist oft ausreichend zur Sicherstellung der Vitalfunktionen.
- B Kommerziell erhältliche Koniotomie-Sets sind auch beim ersten notfalligen Gebrauch selbsterklärend und ohne Vorerfahrung sicher und einfach anzuwenden.
- C Eine Tracheotomie kann in den meisten Fällen zeitgerecht als Lösung durchgeführt werden.
- D Die Koniotomie als chirurgisch-invasiver Atemweg ist Mittel der Wahl.
- E Ursache ist oft ein selbstlimitierender, ohne weitere Therapie reversibler Bronchospasmus, sodass abwartendes Verhalten angeraten ist.

7 Welches dieser Instrumente und Utensilien wird zur notfalligen chirurgischen Koniotomie nicht benötigt?

- A Skalpell mit einer spitzen Klinge (Nr. 11)
- B blockbarer Endotrachealtubus der Größe 5
- C Führungsstab
- D fakultativ ein Nasenspekulum
- E Fiberoptik

8 Welche Aussage zur transtrachealen Jetventilation ist falsch?

- A Sie gilt als invasives Verfahren der Wahl bei Cannot-intubate-cannot-ventilate-Situationen im Säuglings- und Kindesalter.
- B Es wird dabei die Membrana cricothyroidea punktiert.
- C Eine Oxygenierung ist nur mit kommerziell erhältlichen Jetventilatoren möglich.
- D Zur Punktion der Trachea kann eine handelsübliche 14 G-Venenverweilkanüle verwendet werden.
- E Die Technik kann auch bei Erwachsenen angewendet werden.

9 Was ist keine Folge der Verlegung der oberen Atemwege?

- A Barotrauma
- B Luftfalle („Air Trapping“)
- C hämodynamische Instabilität
- D respiratorische Azidose
- E Unmöglichkeit der Punktion der Trachea

10 Was versteht man unter dem Bernoulli-Prinzip?

- A Beziehung zwischen der Fließgeschwindigkeit einer Flüssigkeit oder eines Gases und deren/dessen Druck
- B Einfluss der Temperatur auf den Druck einer Flüssigkeit
- C Beziehung zwischen Durchmesser und Strömungsgeschwindigkeit in einem Rohr
- D einen Beatmungsmodus bei modernen Respiratoren
- E eine Punktionstechnik im Rahmen der Tracheotomie

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.