

Anaesthesist 2005 · 54:601–624
DOI 10.1007/s00101-005-0866-6
Online publiziert: 3. Juni 2005
© Springer Medizin Verlag 2005

Redaktion

H.J. Bardenheuer · Heidelberg
H. Forst · Augsburg
R. Rossaint · Aachen
D. Spahn · Lausanne

Die Beiträge der Rubrik „Weiterbildung · Zertifizierte Fortbildung“ sollen dem Facharzt als Repetitorium dienen und dem Wissensstand der Facharztprüfung für den Arzt in Weiterbildung entsprechen. Die Rubrik beschränkt sich auf gesicherte Aussagen zum Thema.

**Zertifizierte Fortbildung online bei Springer!**

Mit dem in 2004 in Kraft getretenen GKV-Modernisierungsgesetz sind Vertragsärzte wie auch im Krankenhaus tätige Ärzte verpflichtet, sich regelmäßig fachlich fortzubilden. Der Gesetzgeber fordert, dass der Vertragsarzt innerhalb von fünf Jahren 250 Fortbildungspunkte erwirbt und der Nachweis erstmalig bis zum 30. Juni 2009 zu erbringen ist.

Das CME-Angebot mit der gedruckten Zeitschrift und dem Online-Dienst cme.springer.de bietet die Möglichkeit, die Fragen am Ende dieses Beitrags online zu beantworten und somit wichtige Zertifizierungspunkte zu sammeln. Die Teilnahme an diesem Angebot ist Bestandteil Ihres Individualabonnements.

Für diese Fortbildungseinheit erhalten Sie drei Fortbildungspunkte, wenn Sie 70% der Fragen richtig beantwortet haben.

Reichen Sie Ihre Teilnahmebestätigung zur Erlangung des Fortbildungszertifikats bei Ihrer zuständigen Ärztekammer ein.

Diese Initiative ist zertifiziert von der Landesärztekammer Hessen und der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung und damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung:

Springer Medizin Verlag GmbH
Fachzeitschriften Medizin/Psychologie
CME-Helpdesk, Tiergartenstraße 17
69121 Heidelberg
E-Mail: cme@springer-sbm.com

cme.springer.de

J. Motsch^{1,2} · K. Wiedemann² · J. Roggenbach¹

¹ Klinik für Anaesthesiologie, Universitätsklinikum Heidelberg

² Abteilung für Anaesthesiologie und Intensivmedizin, Thoraxklinik am Universitätsklinikum Heidelberg

Atemwegsmanagement bei der Ein-Lungen-Ventilation

Zusammenfassung

Die zunehmend differenzierten und aufwendigen Operationsverfahren für intrathorakale chirurgische Eingriffe erfordern die sichere Seitentrennung der Atemwege und die Möglichkeit der Ein-Lungen-Ventilation. Da jeder Anästhesist im Rahmen der Versorgung von Traumatpatienten oder bei akuten pulmonalen Notfällen mit der Notwendigkeit einer Seitentrennung der Atemwege konfrontiert werden kann, werden in dieser Übersichtsarbeit die derzeit gängigen Verfahren zur Lungentrennung und ihre Anwendung vorgestellt. Auf die besonderen Aspekte der Atemwegssicherung bei schwierigen Atemwegen und der Notwendigkeit der Seitentrennung der Atemwege wird eingegangen. Die resultierenden pathophysiologischen Effekte einer Ein-Lungen-Ventilation werden diskutiert und Strategien zur Aufrechterhaltung einer adäquaten Oxygenierung und Vermeidung einer Hypoxie aufgezeigt.

Schlüsselwörter

Thoraxanästhesie · Seitentrennung der Atemwege · Ein-Lungen-Ventilation · Pathophysiologie der Ein-Lungen-Ventilation · Hypoxische pulmonale Vasokonstriktion (HPV)

Airway management for one-lung ventilation**Abstract**

The progress in sophisticated and complex operating methods for intrathoracic procedures demands reliable lung separation with the possibility of one-lung ventilation. Patients with thoracic traumas and pulmonary emergencies can confront any anaesthesiologist with the need for lung separating procedures. This review describes the contemporary procedures for lung separation. The special aspects of difficult airway management during one-lung ventilation and the indications for one-lung ventilation are described in detail. The pathophysiological changes during one-lung ventilation and strategies to avoid hypoxemia and to preserve adequate oxygenation are discussed.

Keywords

Thoracic anaesthesia · Airway management · One-lung ventilation · Pathophysiologic effects of one lung ventilation · Hypoxic pulmonary vasoconstriction (HPV)

Jeder Anästhesist, auch wenn er üblicherweise nicht in der Thoraxanästhesie tätig ist, sollte mit den derzeit zur Verfügung stehenden Methoden der Lungenseparation vertraut sein. Er sollte wissen, wann die Indikation dazu gestellt wird und die Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren zur Ein-Lungen-Ventilation (ELV) sowie deren Komplikationsmöglichkeiten kennen.

► Lungenparenchym-Lazerationen

Bei Patienten mit einseitigen Lungenerkrankungen, bei denen ein Übergriff der Erkrankung auf die gesunde Lunge verhindert werden soll, wird der Anästhesist mit der Notwendigkeit einer sicheren Seitentrennung der Atemwege ebenso konfrontiert wie bei akuten pulmonalen Notfällen und der Versorgung von Thoraxtraumen mit ► **Lungenparenchym-Lazerationen**. Die videoassistierte Thorakoskopie (VAT) und die differenzierten Operationsverfahren der intrathorakalen Chirurgie, die einen Kollaps der zu operierenden Lunge voraussetzen, erfordern eine absolute Seitentrennung der Beatmung und die sichere Ruhigstellung der betroffenen Lunge.

Da sich bisher kein Lungenseparationsverfahren unter allen Gegebenheiten als Überlegen gegenüber anderen Verfahren erwiesen hat [42], sind bei der Notwendigkeit einer Ein-Lungen-Ventilation die einzelnen Methoden der Seitentrennung der Atemwege sorgfältig gegeneinander abzuwägen.

Während der Ein-Lungen-Ventilation wird die Aufrechterhaltung einer suffizienten Oxygenierung zur zentralen Aufgabe des anästhesiologischen Managements. Unter Berücksichtigung der pathophysiologischen Veränderungen empfiehlt sich bei drohender arterieller Entsättigung ein stufenweises Vorgehen. Grundlage ist eine Verbesserung des gestörten Ventilations-Perfusions-Verhältnisses durch eine Überprüfung der Seitentrennung der Atemwege, eine an die Situation adaptierte Beatmung und eine dem Patienten individuell angepasste Narkoseführung.

Während der Ein-Lungen-Ventilation wird die Aufrechterhaltung einer suffizienten Oxygenierung zur zentralen Aufgabe

Indikation für die Ein-Lungen-Ventilation

Eine Unterscheidung von absoluter und relativer Indikation zur Seitentrennung der Atemwege und Ein-Lungen-Ventilation (ELV) ist heute nicht mehr gerechtfertigt. Die in zahlreichen Lehrbüchern noch verbreitete Ansicht, dass bei den relativen Indikationen einer Ein-Lungen-Ventilation bei Oberlappenresektionen, Pneumonektomien und Eingriffen an thorakalen Aortenaneurysmen eine höhere Priorität einzuräumen ist als bei Mittel- oder Unterlappenresektionen und Ösophagusresektionen, ist heute als überholt anzusehen.

Die moderne Chirurgie fordert bei intrathorakalen Operationen eine ungestörte Übersicht über den Operationssitus und gewebeschonendes Vorgehen, sodass eine Ein-Lungen-Ventilation die Voraussetzung für die Durchführung solcher Eingriffe ist. Daher dürfen Aufwand und Risiken nicht mehr in den Entscheidungsprozess für eine Seitentrennung der Atemwege mit eingehen. Für zahlreiche operative Eingriffe in der Allgemein-, Gefäß-, Herz- und insbesondere in der Thoraxchirurgie ist die Ausschaltung und der Kollaps einer Lunge die notwendige Voraussetzung, um differenzierte Operationstechniken zu ermöglichen und operationsbedingte mechanische Lungenschädigungen zu vermeiden.

Gewebeschonendes und onkologisch orientiertes operatives Vorgehen lassen sich in der modernen Thoraxchirurgie und im Besonderen bei minimal invasiven intrathorakalen Operationstechniken wie der ► **videoassistierten Thoraxchirurgie (VATS)** nur unter Ein-Lungen-Ventilation realisieren.

Die Indikation für eine Seitentrennung der Atemwege und eine Ein-Lungen-Ventilation umfasst, abgesehen von allen intrathorakalen Eingriffen, daher die ► **Protektion** der gesunden Lunge vor dem Übergreifen von Erkrankungen und/oder Noxen aus der geschädigten Lunge sowie der Schutz einer Lunge bei diagnostischen und therapeutischen endobronchialen und intrathorakalen Eingriffen.

Unverzichtbar ist eine Seitentrennung der Atemwege, wenn das Risiko einer Sekretüberflutung der nichterkrankten Lunge besteht. Beim Vorliegen von Bronchiektasen, intrapulmonalen Abszessen und massiven Hämoptysen wird ohne sichere Seitentrennung

Die Unterscheidung von absoluter und relativer Indikation ist heute nicht mehr gerechtfertigt

Für zahlreiche operative Eingriffe ist die Ausschaltung und der Kollaps einer Lunge die notwendige Voraussetzung

► Videoassistierte Thoraxchirurgie (VATS)

► Protektion

Tabelle 1

Indikationen zur Lungenseparation**Ein-Lungen-Ventilation**

Indikation		Rationale
Lebensbedrohliche Erkrankung	• Bronchiektasen • Intrapulmonale Abszesse • Pleuraempyem • Massive Hämoptysen • Bronchopleurale Fisteln • Tracheobronchiale Verletzungen • Traumatische Lungenparenchymzerstörung	• Vermeidung von: Sekretübertritt • Leckage • Alveolossystemarterielle Gasembolie
Maschinelle Beatmung bei	• Raumfordernden Zysten • Großen Emphyseembullae	• Einseitige Überblähung
Intrathorakale Eingriffe	• Videoassistierte Thorakoskopie (VATS) • Minimal invasive intrathorakale, kardiochirurgische Operationen • Lungentransplantation • Onkologische intrathorakale Operationen • Onkologische Ösophagusoperationen • Thorakale Aortenchirurgie	• Optimierte Operationsbedingungen
Diagnostische intrapulmonale Eingriffe	• Lavage einer Lunge	• Schutz und Ventilation der anderen Lunge

der Atemwege das Risiko eines lebensbedrohenden ► **Sekretüberlaufs** (Eiter, Blut) in die gesunde Lunge eingegangen. Raumfordernde Lungenzysten und Emphyseblasen führen ohne seitengetrennte Beatmung zur einseitigen Lungenüberblähung, was konsekutiv mit lebensbedrohenden hämodynamischen Reaktionen und erheblichem Pneumothoraxrisiko einhergeht. Bronchopleurale Fisteln und tracheobronchiale Verletzungen bedingen häufig so hohe Leckageverluste, dass eine regelhafte Ventilation nicht zu gewährleisten ist.

Zur Vermeidung einer alveolopulmonalvenösen und dadurch (system)arteriellen ► **Gasembolie** ist bei Thoraxtraumen mit Zerstörung des Lungenparenchyms durch Zerreißung, Schuss oder Stich die sofortige Ein-Lungen-Ventilation angezeigt.

Im Rahmen von diagnostischen oder therapeutischen bronchopulmonalen Lavagen ist ebenfalls die sichere Seitentrennung der Atemwege zum Schutz der kontralateralen Lunge vor Überflutung und Kontamination unerlässlich (■ **Tabelle 1**).

Atemwegsmanagement zur Ein-Lungen-Ventilation

Für eine Ein-Lungen-Ventilation stehen folgende Verfahren der Seitentrennung der Atemwege zur Verfügung.

Bronchusblocker

Das Grundprinzip aller Bronchusblocker besteht vereinfacht darin, dass ein Ballonkatheter entweder innerhalb oder außerhalb des liegenden endotrachealen Tubus den zu blockierenden Haupt- oder Lappenbronchus verschließt. Auch wenn als Bronchusblocker Fogarty-Katheter, Urinkatheter und Pulmonalarterienkatheter verwendet wurden, stehen heutzutage eigens dafür entwickelte Einmalmaterialien wie der ► **Endobronchialblocker von Arndt** oder Cohen zur Verfügung. Der Gebrauch der anderen Ballon-Katheter ist, mit Ausnahme von Notfällen, aus grundsätzlichen Erwägungen nicht zu empfehlen, zumal diese den anatomischen Gegebenheiten des Tracheobronchialbaums nicht hinreichend Rechnung tragen.

► **Sekretüberlauf**► **Gasembolie**

Bei einem Bronchusblocker verschließt ein Ballonkatheter innerhalb oder außerhalb des endotrachealen Tubus den zu blockierenden Haupt- oder Lappenbronchus

► **Endobronchialblocker von Arndt**

► **Kinderbronchusblocker**

Bei Fogarty-Kathetern ist weder eine endobronchiale Absaugung noch eine O₂-Insufflation möglich

► **Oberlappenatelektase**

► **„High-volume-low-pressure-Cuff“**

Für die Separation der rechten Lunge sollte der sphärische Cuff verwendet werden

Unter fiberoptischer Kontrolle kann der gewünschte Bronchus aufgesucht und der Blocker positioniert werden

► **Blockerdislokation**

Der Cohen-Blocker lässt sich leichter als ein Arndt-Blocker im linken Hauptbronchus platzieren

► **Multiportadapter**

Die Ventilation wird über einen 3. Port aufrechterhalten

Eine Besonderheit stellt die Indikation zur Ein-Lungen-Ventilation bei kleinen Kindern dar. Wegen der speziellen Größenverhältnisse kann die Platzierung eines Fogarty-Katheters oder eines ► **Kinderbronchusblockers** unter fiberoptischer Kontrolle die einzige Möglichkeit sein, um eine Seitentrennung der Atemwege zu erreichen.

Im Notfall, wenn eine Seitentrennung der Atemwege dringlich erforderlich ist, aber keine speziellen Tuben oder Bronchusblocker verfügbar sind, bietet sich die Verwendung eines Fogarty-Katheters an.

Allerdings muss bei der Verwendung von Fogarty-Kathetern berücksichtigt werden, dass diese über kein inneres Lumen verfügen und somit weder eine endobronchiale Absaugung noch eine O₂-Insufflation möglich ist.

Wenn in dieser Situation weder Bronchoskop noch Fogarty-Katheter als Bronchusblocker verfügbar sind, dann kann versucht werden, den Tubus in den entsprechenden Hauptbronchus der zu beatmenden Lunge vorzuschieben. Allerdings besteht bei rechtsseitiger Platzierung des vorgeschobenen Tubus die Gefahr einer zusätzlichen ► **Oberlappenatelektase**. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass es dann keine Möglichkeit zur Sekretabsaugung oder zur Applikation eines PEEP auf die von der Ventilation ausgeschaltete Lunge gibt.

Arndt-Blocker

Der Arndt-Blocker (■ **Abb. 1**) ist ein Katheter von 5–9 French mit einer Länge von 50–78 cm und einem Durchmesser des Innenlumens von 1,4 mm [27]. Der Arndt-Blocker ist entweder mit einem sphärischen oder elliptischen ► **„High-volume-low-pressure-Cuff“** versehen [4]. Für die Separation der rechten Lunge sollte der sphärische Cuff verwendet werden, da der elliptische Cuff leicht den Abgang des rechten Oberlappenbronchus verschließt und den rechten Hauptbronchus gelegentlich nur unzureichend abdichtet [27].

Im inneren Lumen des Blockerkatheters befindet sich eine Nylonschnur, welche an der Katheterspitze eine Schlinge bildet. Wenn der Bronchusblocker mit der Schlinge an der Spitze des Bronchoskops befestigt wird, kann unter fiberoptischer Kontrolle der gewünschte Bronchus aufgesucht und der Blocker positioniert werden. Nach korrekter Platzierung des Arndt-Blockers kann die Schlinge zurückgezogen und über das freiwerdende Innenlumen abgesaugt, Sauerstoff insuffliert oder CPAP generiert werden [6].

Eine einmal entfernte Schlinge kann jedoch nicht wieder in das Lumen des Arndt-Bronchusblockers eingeführt werden, was eine Korrektur bei einer ► **Blockerdislokation** verkompliziert.

Cohen-Blocker

Alternativ zum Arndt-Blocker steht der Cohen-Blocker zur Verfügung. Dieser neu entwickelte sphärische Bronchusblocker mit einem Durchmesser von 9 French hat als Besonderheit eine schwenkbare Spitze, die über ein am proximalen Ende befindliches Drehrad in die gewünschte Position gebracht werden kann (■ **Abb. 2**). Der Vorteil liegt in der einfacheren Steuerung der Blockerspitze unter Sicht zur primären Bronchusblockade mit der Möglichkeit einer jederzeitigen Korrektur der Position, falls es zu einer Dislokation gekommen ist. Daher lässt sich ein Cohen-Blocker leichter als ein Arndt-Blocker im linken Hauptbronchus platzieren. Nachteilig erscheinen die hohen Kosten und der größere Durchmesser des Katheters.

Praktische Durchführung der Lungenseparation

Nach endotrachealer Intubation mit einem ausreichend großen Endotrachealtubus wird der Bronchusblocker im Regelfall über einen ► **Multiportadapter** (■ **Abb. 1**) eingeführt und unter fiberoptischer Kontrolle in den gewünschten Hauptbronchus dirigiert (■ **Abb. 3**). Ein mit dem Arndt- und Cohen-Blocker mitgelieferter 3-Wege-Multiportadapter ermöglicht über separate Kanäle das ungehinderte Einführen des fiberoptischen Bronchoskops und des Bronchialblockers, während die Ventilation über einen 3. Port aufrechterhalten wird.

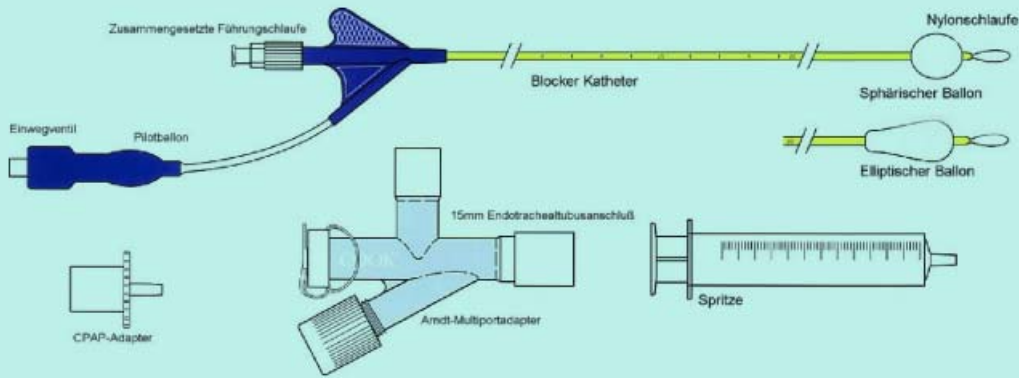


Abb. 1 ◀ Arndt-Blocker

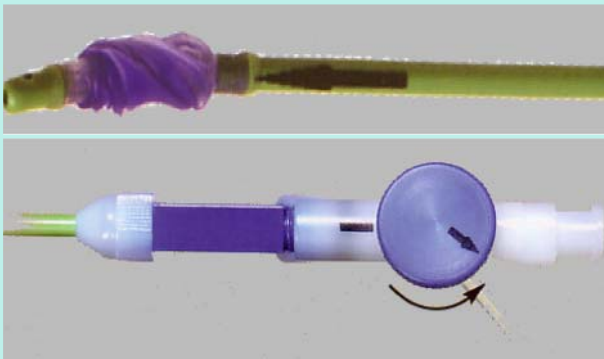


Abb. 2 ◀ Cohen-Blocker mit Drehrad und schwenkbare Spitze

Wird ein Arndt-Blocker verwendet, wird dieser mit seiner Schlinge am distalen Ende des Bronchoskops befestigt. Mit dem Bronchoskop wird der Arndt-Blocker dann unter Sicht in den gewünschten Bronchus vorgeschoben. Sobald der entlüftete Cuff des Bronchusblockers im gewünschten Bronchus positioniert ist, wird das Bronchoskop zurückgezogen und der Cuff unter Sicht mit 2–3 ml für einen Lappenbronchus bzw. mit 5–8 ml für einen Hauptbronchus geblockt [27].

Teilweise wird empfohlen, den Cuff des Bronchusblockers nach korrekter Platzierung erneut zu entlüften und ca. 1 cm tiefer in den Bronchus zu schieben, um eine Dislokation während der Seitenlagerung des Patienten zu vermeiden [27]. Nachdem der Patient endgültig gelagert ist, muss die korrekte Positionierung des Bronchusblockers erneut fiberoptisch kontrolliert werden. Das distale Ende des Blockers sollte im gewünschten Bronchus wenigstens 5 mm unterhalb der Karina sichtbar sein [27, 79].

Vorteile

Vorteilhaft gegenüber anderen Verfahren der Lungenseparation erscheint bei Verwendung von Bronchusblockern die einfachere endotracheale Intubation, insbesondere dann, wenn Veränderungen der oberen Luftwege, eine reduzierte Mundöffnung, vorangegangene Operationen im Hals-Nacken-Bereich oder traumatische Verletzungen der HWS eine Intubation mit einem Doppellumentubus erschweren oder unmöglich machen. Beim Vorliegen von schwierigen Atemwegen ist der Einsatz eines Bronchusblockers eine effektive Methode, wenn eine Seitentrennung der Atemwege erforderlich ist.

Auch in Notfallsituationen oder bei aspirationsgefährdeten Patienten sollte als Alternative zur Doppellumentubation der Einsatz eines Bronchusblockers in Erwägung gezogen werden [4, 5]. Bei Kindern ist wegen der besonderen Größenverhältnisse eine Intubation mit einem Doppellumentubus häufig nicht durchführbar; das betrifft auch Patienten, bei denen eine nasale Intubation indiziert ist, sowie tracheotomierte Patienten [3, 26]. Die Verwendung eines Bronchusblockers ist dann eine Alternative, um eine Einlungen-Ventilation zu ermöglichen.

Mit dem Bronchoskop wird der Arndt-Blocker unter Sicht vorgeschoben

Das distale Ende des Blockers sollte im gewünschten Bronchus wenigstens 5 mm unterhalb der Karina sichtbar sein

Beim Vorliegen von schwierigen Atemwegen ist der Bronchusblocker effektiv zur Seitentrennung

In Notfallsituationen oder bei Aspirationsgefahr sollte der Bronchusblocker in Erwägung gezogen werden

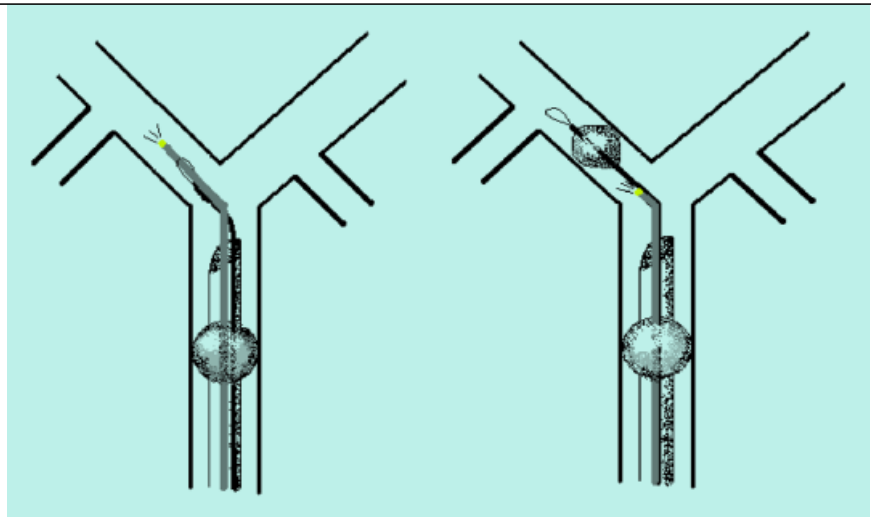


Abb. 3 ▲ **Lungenseparation mit dem Arndt-Blocker. Aufsuchen des gewünschten Bronchus und Blockung des bronchialen Cuffs unter Sicht**



Abb. 4 ▲ **Univent-Tubus mit Bronchusblocker. Kleines Bild: Geblockter Bronchuscuff**

► **Atemwegskomplikationen**

Mit Bronchusblockern können einzelne Segmentbronchien selektiv geblockt werden

Alle Bronchusblocker engen das Tubuslumen ein

Bei kleinen Kindern wird erst der Bronchusblocker platziert und danach die Trachea mit dem Endotrachealtubus zu intubiert

Zusätzlich sollte der Einsatz eines Bronchusblockers immer dann in Erwägung gezogen werden, wenn eine postoperative Umintubation mit einem absehbar erhöhten Risiko für ► **Atemwegskomplikationen** einhergeht [42, 50].

Mit Bronchusblockern können darüber hinaus einzelne Segmentbronchien selektiv geblockt werden, was gelegentlich wünschenswert ist.

Nachteile

Der Einsatz von Bronchusblockern geht mit einigen Nachteilen einher, die den allgemeinen Einsatz einschränken und die weite Verbreitung behindern. Grundsätzlich engen alle Bronchusblocker das Tubuslumen ein, wobei beim Erwachsenen ein minimaler innerer Durchmesser von 4–5 mm für eine suffiziente Ventilation und CO₂-Elimination erhalten bleiben muss [31].

Aus diesem Grund ist es bei kleinen Kindern zur Seitentrennung der Atemwege erforderlich, den Bronchusblocker zunächst unter bronchoskopischer Sicht zu platzieren und danach die Trachea mit dem Endotrachealtubus zu intubieren. Der Bronchusblocker liegt dann in der Trachea außerhalb des Endotrachealtubus und wird zwischen diesem und der Trachealwand in der Position fixiert.

Um das zur Ventilation zur Verfügung stehende Lumen des Endotrachealtubus nicht übermäßig zu reduzieren, ist einerseits das Innenlumen eines Bronchusblockers vor allem distal des Ballons von so geringem Durchmesser, dass ein rascher Kollaps der aus der Ventilation ausgeschalteten Lunge und eine effektive Absaugung von Sekret nicht immer gewährleistet ist. Gelegentlich muss für einen raschen vollständigen Kollaps der nicht beatmeten Lunge die persistierende und noch nicht resorbierte Luft in der geblockten Lunge abgesaugt werden, was das theoretische Risiko eines ► **Unterdrucklungenödems** beinhaltet.

Andererseits führt jede Vergrößerung des Innenlumens zu einer Zunahme des Querschnitts des Bronchusblockers, was zwangsweise eine weitere Reduktion des zur Beatmung verfügbaren Lumens im Endotrachealtubus nach sich zieht. Eine bronchoskopische Kontrolle der nichtventilierten Lunge ist bei der Verwendung von Bronchusblockern generell nicht möglich. Für Pneumonektomien und bronchoplastische Eingriffe sind Bronchusblocker grundsätzlich nicht geeignet.

Darüber hinaus besteht bei allen Bronchusblockern durch chirurgische Manipulation der geblockten Lunge ein hohes Risiko für eine ► **Dislokation** des geblockten Ballons in die Trachea mit der Gefahr einer lebensgefährlichen Atemwegsobstruktion [31]. Aus diesem Grund sollten Bronchusblocker vorzugsweise zur Blockade der linken Lunge eingesetzt werden, weil der linke Hauptbronchus durch seine Länge von 40–56 mm eine größere Sicherheit zur Positionierung bietet [31]. Die fiberoptische Kontrolle der Blockerposition ist absolut obligatorisch.

Univent-Tubus

Der Univent-Tubus kann als fixe Kombination eines Ein-Lumen-Tubus mit einem Bronchusblocker angesehen werden, sodass mit diesem Tubus sowohl Zwei-Lungen- als auch Ein-Lungen-Ventilation möglich ist. Neben dem trachealen Hauptlumen zur Zwei-Lungen-Ventilation befindet sich ein Bronchusblocker in einem dünnen Seitenkanal, von wo aus dieser unter fiberoptischer Kontrolle in den zu blockenden Hauptbronchus dirigiert werden kann (■ **Abb. 4**). Nach Aufblocken ist die entsprechende Lunge von der Ventilation ausgeschaltet. Der Durchmesser des Innenlumens des Blockerkatheters beträgt 2 mm.

Wegen des zusätzlichen Kanals für den Bronchusblocker verfügt der Univent-Tubus über eine ovale Außenform mit einem größeren Umfang und Außendurchmesser als ein konventioneller Endotrachealtubus mit vergleichbarem Innenlumen. Dies ist bei der Wahl der passenden Tubusgröße zu berücksichtigen.

Lungenseparation mit dem Univent-Tubus

Nach konventioneller Intubation und Platzierung des Tubus in der Trachea wird unter fiberoptischer Sicht auf die Karina der Blocker vorgeschoben und in den gewünschten Bronchus gelenkt. Die Positionierung im linken Hauptbronchus kann sich als schwierig erweisen. Modifikationen des Blockers durch den Hersteller sollen eine Verbesserung bringen. Alternativ kann auch der Univent-Tubus unter bronchoskopischer Kontrolle bis in den gewünschten Bronchus vorgeschoben werden. Nach Passage des Hauptbronchus wird der Blockerkatheter vorgeschoben und der Univent-Tubus in eine korrekte Position über der Karina zurückgezogen.

Nach Blockung des Katheters sollte der Abstand des proximalen Endes der Cuffs zur Karina ca. 5 mm betragen [79]. Der „High-pressure-low-volume-Cuff“ wird mit ca. 2 ml Luft für einen Lappenbronchus und mit 4–8 ml für einen Hauptbronchus geblockt.

Vorteile

Ähnlich wie bei den Bronchusblockern kann der Patient mit dem Univent-Tubus konventionell endotracheal intubiert werden, was bei schwierigen Atemwegen oder bei der Ileus-einleitung wünschenswert ist. Wenn eine Indikation zur postoperativen Nachbeatmung besteht, ist eine Umintubation nicht erforderlich. Der vorgeschobene Bronchusblocker wird nach Entblockung in den Blockerkanal zurückgezogen und der Univent-Tubus kann

► Unterdrucklungenödem

Die Bronchoskopie der nichtventilierten Lunge ist bei der Verwendung von Bronchusblockern nicht möglich

► Dislokation

Bronchusblocker sollten vorzugsweise zur Blockade der linken Lunge eingesetzt werden

Der Univent-Tubus kann als fixe Kombination eines Ein-Lumen-Tubus mit einem Bronchusblocker angesehen werden

Der Univent-Tubus hat einen größeren Umfang und Außendurchmesser als ein konventioneller Endotrachealtubus

Die Positionierung im linken Hauptbronchus kann sich als schwierig erweisen

Nach Blockung des Katheters sollte der Abstand des proximalen Endes der Cuffs zur Karina ca. 5 mm betragen

Zur postoperativen Nachbeatmung ist eine Umintubation nicht erforderlich

Tabelle 2

Richtlinien zur Wahl der Tubengrößen bei Kindern

Alter [Jahre]	Tubusgröße [mm]	Bronchusblocker [Fr]	UNIVENT	DLT [Fr]
0,5–1	3,5–4,0	5		
1–2	4,0–4,5	5		
2–4	4,5–5,0	5		
4–6	5,0–5,5	5		
6–8	5,5–6,0	5	3,5	
8–10	6,0	6	3,5	26
10–12	6,5	6	4,5	26–28
12–14	6,5–7,0	6	4,5	32
14–16	7,0	7	6,0	35
16–18	7,0–8,0	7	7,0	35

in seiner Position belassen werden. Die Blockade einzelner Lungenlappen ist, vergleichbar mit Bronchusblockern, ebenfalls möglich.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass das Innenlumen des Blockers die Möglichkeit zur **►CPAP-Applikation** distal des Blockers und zur endobronchialen Absaugung bietet. Allerdings gelingt das Absaugen aufgrund des dünnen Lumens bei zähem Sekret oft nur unzureichend.

Nachteile

Nachteilig fällt die teilweise schwierige Positionierung des Bronchialblockers auf, insbesondere dann, wenn der linke Hauptbronchus geblockt werden soll [31]. Aufgrund des zusätzlichen Lumens für den Bronchialblocker hat der Univent-Tubus einen relativ großen Außendurchmesser, welcher erheblich über dem eines konventionellen Ein-Lumen-Tubus mit vergleichbarem Innendurchmesser liegt und unter Umständen eine Intubation erschweren kann. Wenn der äußere Durchmesser des Univent-Tubus über dem eines Hauptbronchus liegt, ist dieser als Schiene für den Bronchialblocker nicht geeignet.

Eine Positionierung des starren Blockers unter fiberoptischer Sicht ist obligatorisch, da ein blindes Vorschieben des Blockers zur **►Bronchialperforation** führen kann.

Von Bedeutung erscheint das Risiko eines akzidentellen Aufblasens der Blockermanschette in der Trachea mit der Gefahr einer kompletten oder partiellen **►Trachealobstruktion** (■ Tabelle 2).

Doppellumentubus

Zur Seitentrennung der Atemwege ist die Anwendung eines Doppellumentubus (DLT) das derzeit am weitesten verbreitete Verfahren.

Die ersten Doppellumentuben mit Karinasporn nach Carlsen und White sind vom PVC-Doppellumentubus ohne Sporn nach Robertshaw ersetzt worden. Der fehlende Karinasporn moderner Doppellumentuben reduziert das Risiko von tracheobronchialen Verletzungen. Mittlerweile stehen sowohl links- als auch rechtsseitige Doppellumentuben von Mallinckrodt, Rüsch und Sheridan zur Verfügung, die sich u. a. in der Form der Bronchialmanschette unterscheiden (■ Abb. 5, 6).

Der Doppellumentubus ermöglicht über das tracheale und über das bronchiale Lumen die bronchoskopische Kontrolle beider Lungen, mit der Möglichkeit einer suffizienten Absaugung und schnellen Deflation der unabhängigen Lunge.

Im Gegensatz zu den Bronchusblockern erlaubt der DLT die weitgehend uneingeschränkte Applikation von **►PEEP** und CPAP auf die nichtventilierte Lunge, woraus sich ggf. ein signifikanter Oxygenisierungsvorteil der nichtventilierten Lunge ergibt. Das Risiko einer Tubusdislokation ist bei Doppellumentuben niedriger als bei herkömmlichen Bronchusblockern [27].

► CPAP-Applikation

Der relativ große Außendurchmesser kann eine Intubation erschweren

► Bronchialperforation**► Trachealobstruktion**

Der fehlende Karinasporn reduziert das Risiko tracheobronchialer Verletzungen

Der Doppellumentubus ermöglicht die bronchoskopische Kontrolle beider Lungen

► PEEP



Abb. 5 ▲ Linksseitiger Doppellumentubus (DLT)



Abb. 6 ▲ Rechtsseitige Doppellumentuben mit unterschiedlich geformten Bronchialmanschetten

Wahl der Tubusgröße

Die Wahl der richtigen Tubusgröße nimmt bei der Intubation mit einem Doppellumentubus einen hohen Stellenwert ein. Prinzipiell sollte immer der größtmöglich zu platzierende Tubus gewählt werden. Ein großes Tubuslumen reduziert den Atemwegswiderstand und Auto-Peep während der Ein-Lungen-Beatmung und erleichtert die Passage des Bronchoskops. Zudem kann ein solcher nicht zu tief endobronchial vorgeschoben werden, was einen zusätzlichen Schutz vor akzidentellen Obstruktionen eines Oberlappenbronchus bietet [22].

Darüber hinaus erfordert ein zu klein gewählter Tubus die Blockung des bronchialen Cuffs mit einem hohen Volumen, um einen sicheren Verschluss des Bronchus zu gewährleisten. Dadurch resultiert ein druckbedingtes Bronchustrauma, im schlimmsten Fall eine ► **Bronchusruptur** sowie die Tendenz einer Tubusverschiebung nach proximal mit dem Risiko einer Tubusfehlage [79]. Aus der Korrelation zwischen Krikoiddurchmesser und Durchmesser des linken Hauptbronchus lässt sich ableiten, dass sich bei einem DLT von der Größe, die beim Erwachsenen die Krikoidenge ohne Widerstand passiert, dessen endobronchialer Schenkel auch ohne Verletzungsrisiko im linken Hauptbronchus platzieren lässt [68].

Doppellumentuben sind in Größen von 26–41 French erhältlich. Die dazu korrespondierenden Innendurchmesser betragen zwischen 3,4 mm und 7,5 mm. Da die Körpergröße nur ein unzuverlässiger Parameter zur Abschätzung der bestgeeigneten Tubusgröße ist, bieten sich direkte Messungen des Durchmessers von Krikoid, Trachea und Bronchialquerschnitt anhand von konventionellen Thoraxröntgenaufnahmen bzw. CT-Schichtaufnahmen an. Der Durchmesser der Trachea verhält sich zum linken Hauptbronchus wie 1:0,68, was eine Berechnung ermöglicht [19]. Normalerweise sind Doppellumentuben von 35–37 Fr. für Frauen und 39–41 Fr. für Männer die geeigneten Größen (■ **Tabelle 3**).

Praktische Durchführung der Intubation

Nach hinreichender ► **Präoxygenierung** und üblicher Narkoseinduktion wird unter laryngoskopischer Sicht der DLT (mit Führungsstab) mit der nach oben weisenden bronchialen Spitze (blaues Ende) durch die Stimmritze in die Trachea geschoben. Nach Passage der Stimmritze wird der Führungsstab entfernt und der Tubus um 90° in Richtung des zu intubierenden Bronchus gedreht und vorsichtig weiter vorgeschoben. Um den Cuff vor einer Beschädigung durch die Zähne zu schützen und die Intubation zu erleichtern, ist ein (bogenförmiges) Vorbiegen des Tubus oft hilfreich.

Entgegen einer weit verbreiteten Meinung sollte der DLT normalerweise nicht bis zum Erreichen eines moderaten Widerstandes eingeführt werden, da dies zum Verschluss des Oberlappenbronchus und anderen schweren Komplikationen wie Bronchusrupturen führen kann [22].

Es besteht eine hohe Korrelation zwischen der Körpergröße und der Länge der Trachea, sodass bei Erwachsenen mit einer Körpergröße von 170 cm der DLT für eine korrekte Lage zunächst 29 cm von der Zahnreihe eingeführt werden sollte. Jeweils 10 cm oberhalb bzw. unterhalb dieser Körpergröße erfordern eine entsprechende Anpassung der Einführtiefe des DLT um jeweils 1 cm [18].

Prinzipiell sollte immer der größtmöglich zu platzierende Tubus gewählt werden

► Bronchusruptur

Der Durchmesser der Trachea verhält sich zum linken Hauptbronchus wie 1:0,68

► Präoxygenierung

Ein Vorbiegen des Tubus erleichtert die Intubation

Es besteht eine hohe Korrelation zwischen der Körpergröße und der Länge der Trachea

Tabelle 3

Richtlinien für die Größenwahl eines linksseitigen Doppellumentubus anhand des gemessenen Trachealdurchmessers

Trachealdurchmesser [mm]	Errechneter linker Hauptbronchus-durchmesser [mm]	Primär empfohlene DLT-Größe [Fr]	Äußerer DLT-Durchmesser [mm]	
			Tracheales Lumen	Linkes Lumen
≥18	≥12,2	41	14–15	10,6
≥16	≥10,9	39	13–14	10,1
≥15	≥10,2	37	13–14	10,0
≥14	≥9,5	35	12–13	9,5
≥12,5	≥8,5	32	10–11	8,3
≥11	≥7,5	28	9,4	7,4

► **Notfallsituationen**

Auf eine ausreichende Lubrikation des bronchialen Schenkels sollte geachtet werden

► **Wachintubation**► **Larynxmaske**

Von einer endotrachealen Intubation über eine Larynxmaske ohne fiberoptische Kontrolle wird abgeraten

► **Tubuswechselkatheter**

Als Alternative bietet sich die in einer retrospektiven Analyse von Takita et al. [72] ermittelte Formel zur Bestimmung der Intubationstiefe des DLT mit der Körpergröße als abhängige Variable an:

$$\text{DLT-Tiefe}_{\text{cm}} = 12,5 + (0,1) \times \text{Körpergröße (cm)}.$$

Für die Positionierung linksseitiger Doppellumentuben kann man sich, besonders in ► **Notfallsituationen** oder wenn kein Bronchoskop zur Verfügung steht, eine weitere, einfache und elegante Methode zu Nutze machen: Der linksseitige DLT wird bis zum Erreichen eines ersten Widerstands in die Trachea eingeführt. Anschließend wird der bronchiale Cuff mit 1,0–2,0 ml Luft gefüllt. Der Cuffdruckmesser sollte dabei einen bronchialen Cuffdruck von ungefähr 30 cm H₂O anzeigen. Dann wird der DLT unter kontinuierlicher Cuffdruckmessung langsam zurückgezogen, bis der gemessene Cuffdruck sich halbiert.

Im nächsten Schritt wird der bronchiale Cuff vollständig entblockt und der DLT um ca. 1,5 cm wieder vorgeschoben und erneut geblockt. Kleinere Doppellumentuben (Größe 35 und 37) müssen nur etwa 1,0 cm weiter vorgeschoben werden [7].

Das gleiche Verfahren lässt sich auch taktil durchführen, wenn der Ballon des bronchialen Cuffs zwischen Zeigefinger und Daumen gehalten wird. In diesem Fall muss jedoch kurzfristig ein höherer Cuffdruck (ca. 50 cm H₂O) in Kauf genommen werden, da die taktil Überprüfungen des Drucks nicht so sensitiv auf Druckschwankungen reagiert. Dieses komplikationsarme Verfahren lässt sich schnell durchführen und hat eine hohe Erfolgsrate [8]. Es sollte allerdings immer auf eine ausreichende Lubrikation des bronchialen Schenkels des DLT geachtet werden, um das Verletzungsrisiko zu reduzieren.

Intubation bei schwierigen Atemwegen

Bei einigen Indikationen zur Ein-Lungen-Ventilation stellen, auch beim Vorliegen von schwierigen Atemwegen, andere Lungenseparationsverfahren keine Alternative zur Doppellumenintubation dar (Lavage einer Lunge, nicht lokalisierte intrapulmonale Blutung). Eine fiberoptische ► **Wachintubation** ist durch die relativ geringe Flexibilität und den großen Außendurchmesser eines Doppellumentubus erschwert und bei wachen Patienten oft nicht durchführbar [34].

Gelingt in dieser Situation eine Doppellumenintubation auf konventionellem Weg nicht, sollte primär eine Ein-Lumen-Intubation durchgeführt oder – in Anlehnung an die Leitlinien der Difficult Airway Society (DAS) – eine Larynxmaske eingesetzt werden [46]. Die ► **Larynxmaske** erlaubt unter fiberoptischer Kontrolle eine tracheale Ein-Lumen-Intubation. Über Larynxmasken der Größe 3 und 4 lassen sich 6,0-Tuben einbringen, Larynxmasken der Größe 5 sind groß genug für einen 7,0-mm-Tubus [17].

Von einer endotrachealen Intubation über eine Larynxmaske ohne fiberoptische Kontrolle wird wegen des Verletzungsrisikos abgeraten. Nach erfolgreicher endotrachealer Intubation kann über einen Tubuswechselkatheter ein Doppellumentubus platziert werden. Dabei ist darauf zu achten, die Wechselkatheter so zu wählen, dass sie als Schiene für den gewünschten Tubus nicht zu groß sind [34].

Der Einsatz der ► **Tubuswechselkatheter** ist allerdings nicht ohne Risiken. Solche Katheter dürfen niemals gegen einen Widerstand vorgeschoben werden, und der Anästhe-

sist sollte sich immer der Insertionstiefe des Katheters bewusst sein. Darüber hinaus sollte ein Jet-Ventilator bereitstehen, falls sich der DLT nicht über den Wechsellutheter in die Trachea vorschieben lässt [34]. Schließlich sollte ein Doppellumentubus nicht ohne Zuhilfenahme eines Laryngoskops vorgeschoben werden, um das Risiko von Weichteilschäden im Pharynx und am Larynx zu reduzieren.

Kontrolle der Tubuslage

Doppellumenintubationen sind nach Ansicht einiger Autoren mit einem hohen Risiko von **► Fehlpositionierungen** und intraoperativen Dislokationen vergesellschaftet [54, 55, 56]. Die klinische Relevanz der in zahlreichen Studien berichteten hohen Inzidenz von Fehlpositionierungen eines DLT ist jedoch gelegentlich angezweifelt worden, wenn per definitionem eine Abweichung des bronchialen Lumens von der korrekten Position um mehr als 5 mm als Fehlposition gewertet wurde [21]. Denn in den meisten Fällen gelingt eine zufriedenstellende Ventilation und Oxygenierung trotz einer definitionsgemäßen „Fehlposition“ [21].

Auch wenn kein genereller Konsensus, über die obligatorische Notwendigkeit einer fiberoptischen Kontrolle der Tubusposition bei einem linksseitigen Doppellumentubus besteht [21, 22], sollte es als „good practice“ angesehen werden, nach der Intubation zunächst die Tubuslage klinisch zu überprüfen und anschließend die korrekte Lage fiberoptisch zu verifizieren.

Klinische Überprüfung der korrekten Tubusposition

Nach der Intubation und Positionierung des DLT sollte als Erstes der tracheale Cuff geblockt und die seitengleiche Belüftung beider Lungen auskultatorisch überprüft werden. Es empfiehlt sich, diese Prozedur nach Blockung des bronchialen Cuffs zu wiederholen, um eine **► Herniation** unmittelbar zu erkennen [33]. Der bronchiale Cuff benötigt üblicherweise nicht mehr als 2 ml Luft für eine suffiziente Abdichtung. Sollte ein deutlich größeres Volumen bei der Blockung der bronchialen Manschette benötigt werden, liegt das proximale Ende des Cuffs vermutlich über der Karina. Zur Korrektur der Fehlposition sollte der Tubus nach Entlüftung der Manschette noch etwas tiefer vorgeschoben werden [22].

Anschließend kann die Positionierung des endobronchialen Lumens im gewünschten Bronchus durch Abklemmen des trachealen Lumens überprüft werden. Bei korrekter Position lässt sich eine einseitige Thoraxexkursion beobachten und eine einseitige Ventilation auskultieren [31]. Sind weiterhin beide Lungen belüftet, liegt das bronchiale Lumen des DLT noch über der Karina. Sollte die Beatmung der rechten und linken Lunge deutliche Druckunterschiede aufweisen, verschließt der endobronchiale Schenkel vermutlich einen Oberlappen, sodass der Tubus entblockt und in 5-mm-Schritten zurückgezogen werden sollte, bis sich die Beatmungsdrücke beider Lungen wieder angleichen.

Die fiberoptische Kontrolle der Tubuslage sollte nach klinisch korrekter Positionierung grundsätzlich durchgeführt werden (■ **Abb. 7, 8, 9, 10, 11**). Zunächst wird das fiberoptische Bronchoskop über das tracheale Lumen eingeführt, die Karina aufgesucht und die Lage der bronchialen Tubusmanschette (blau) kontrolliert (■ **Abb. 7**).

Das proximale Ende des Cuffs sollte, nach Ansicht einiger Autoren, direkt unter der Karina sichtbar sein [13, 54]. Eine Herniation des Cuffs über die Karina hinweg mit teilweiser Verlegung des rechten Hauptbronchus muss aber unbedingt vermieden werden. Da jedoch durch die Patientenlagerung und chirurgische Manipulationen eine Tubusdislokation nach proximal häufiger vorkommt als nach distal [22], sollte bei linksseitigen Doppellumentuben vorzugsweise ein **► Sicherheitsabstand** von 5 mm bis 10 mm zwischen dem proximalen Ende des bronchialen Cuffs und der Hauptkarina eingehalten werden [22]. Zur Kontrolle des empfohlenen Sicherheitsabstandes bietet sich eine fiberoptische Kontrolle der Karina-Manschettenoberabrand-Distanz durch das bronchiale Lumen des DLT an (■ **Abb. 9**).

Die Überprüfung der freien Zugänglichkeit des linken oberen Hauptbronchus (bei Verwendung eines linksseitigen DLT) über das bronchiale Lumen des DLT ist unerläss-

► Fehlpositionierungen

Nach der Intubation sollte die Tubuslage zunächst klinisch überprüft werden

► Herniation

Der bronchiale Cuff benötigt üblicherweise nicht mehr als 2 ml Luft für eine suffiziente Abdichtung

Die fiberoptische Kontrolle der Tubuslage sollte nach klinisch korrekter Positionierung durchgeführt werden

► Sicherheitsabstand

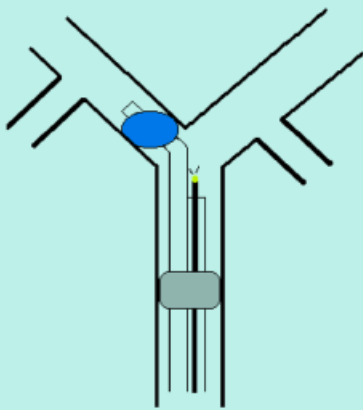


Abb. 7 ▲ Blick auf die Karina

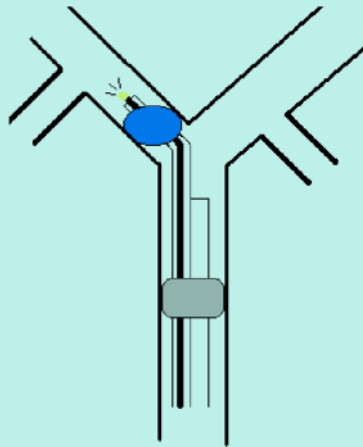


Abb. 8 ▲ Kontrolle des linken Oberlappenbronchus

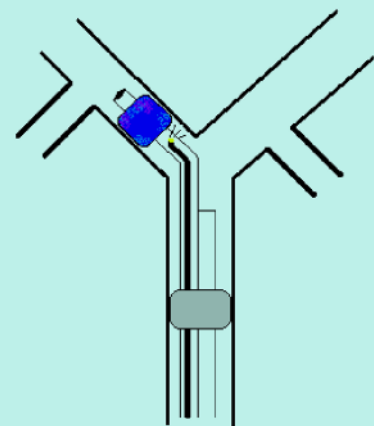


Abb. 9 ▲ Blick auf die Karina durch das bronchiale Lumen

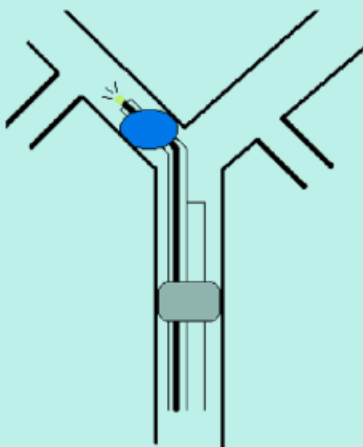


Abb. 10 ▲ Rechter Doppellumentubus, Blick auf die Karina

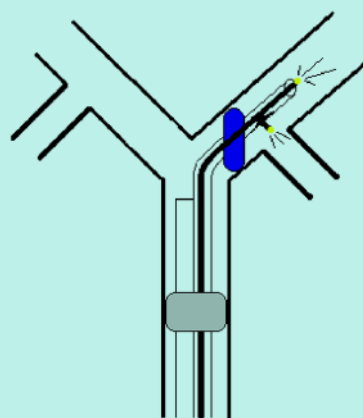


Abb. 11 ▲ Rechter Doppellumentubus, Kontrolle der freien Zugänglichkeit des rechten Oberlappenbronchus

► Okklusionen

Bei Seitentrennung der Atemwege mit Doppellumentubus wird als Standard der linkseitige Doppellumentubus verwendet.

Eine Ausnahme stellen offene thoraxchirurgische Eingriffe dar

► Kapnographie

lich, da eine Verlegung des Bronchuslumens durch eine zu tiefe Positionierung des Doppellumentubus klinisch durch alleinige Auskultation und Inspektion leicht übersehen werden kann (■ Abb. 8).

Bei der Verwendung eines rechtsseitigen DLT sind aufgrund des frühen Abgangs des rechten Oberlappenbronchus ►**Okklusionen** relativ häufig [33], was eine fiberoptische Lagekontrolle absolut unverzichtbar macht (■ Abb. 10, 11). Daher wird bei der Verwendung eines Doppellumentubus zur Seitentrennung der Atemwege als Standard der linkseitige Doppellumentubus verwendet.

Eine Ausnahme stellen offene thoraxchirurgische Eingriffe dar, wenn der Anästhesist über entsprechende Erfahrung verfügt. In diesen Fällen sollte immer die ventilierte Lunge endobronchial intubiert werden. Dadurch ist auf der Seite der Thorakotomie der Hauptbronchus frei und das Risiko einer Tubusdislokation durch chirurgische Manipulationen geringer. Bei Eingriffsausweitung und Pneumonektomie kann die Position des DLT und die Ein-Lungen-Ventilation beibehalten werden.

Die klinische und fiberoptische Lagekontrolle des DLT sollte unmittelbar nach der Intubation in Rückenlage erfolgen. Da im Anschluss an die Seitenlagerung des Patienten häufig Tubusfehlagen durch Rausrutschen nach proximal beobachtet werden, ist eine weitere klinische und fiberoptische Überprüfung der Tubuslage unerlässlich [21, 54].

Die korrekte Abdichtung des geblockten Bronchus kann mit einer einseitigen ►**Kapnographie** am bronchialen Schenkel überprüft werden. Bei einseitiger Ventilation über

den trachealen Schenkel weisen persistierende $P_{et}CO_2$ -Schwankungen am bronchialen Schenkel auf einen Atemgasübertritt und somit auf eine Undichtigkeit des bronchialen Schenkels hin. Bei korrekter Position und Abdichtung der bronchialen Blockermanschette lassen sich keine $P_{et}CO_2$ -Schwankungen nachweisen. Als einfaches Überwachungsgerät eignet sich ein ► **Cuffdruckmesser**, der eine Lageänderung oder auch Manipulationen des Operateurs unmittelbar anzeigt.

Nachteile

Die Anwendung eines DLT ist mit einigen Risiken behaftet, weshalb dieser unter bestimmten Voraussetzungen für eine Trennung der Atemwege ungeeignet erscheint. Grundsätzlich ist der äußere Durchmesser eines DLT erheblich größer als bei konventionellen oder Univent-Tuben, was die potenzielle Gefahr einer traumatischen Intubation und/oder Verletzungen des Tracheobronchialbaumes mit sich bringt. Für kleinwüchsige Erwachsene und für Kinder kann der Querschnitt eines DLT im Verhältnis zur Größe der Trachea zu groß sein, sodass auf andere Verfahren der Atemwegtrennung zurückgegriffen werden muss.

Die Intubation mit einem DLT ist häufig zeitaufwendiger und bisweilen schwieriger als eine konventionelle Intubation. Bei erschwerten Intubationsbedingungen (kraniofaziale und maxilläre Frakturen, eingeschränkte Mundöffnung, reduzierte Kopfreklination) und bei anatomischen Veränderungen von Trachea und Bronchialbaum (Trachealverlagerungen, komprimierende oder vaskularisierte endobronchiale Tumoren, nach Nackenoperationen, tracheotomierte Patienten) kann eine Intubation mit einem Doppellumentubus unmöglich sein. Bei einem erhöhten ► **Aspirationsrisiko** sollte die Indikation zur Intubation mit einem Doppellumentubus sehr streng gestellt werden.

Ähnlich wie beim Bronchusblocker oder dem Univent-Tubus besteht auch beim Doppellumentubus das Risiko einer Dislokation. Nach einer Untersuchung an mehr als 1000 Patienten war jedoch eine intraoperative Tubusdislokation ein sehr seltenes Ereignis [21]. Das Risiko einer Dislokation scheint möglicherweise bei Verwendung eines rechtsseitigen DLT größer zu sein als bei einem linksseitigen DLT [24, 32, 54], was allerdings kontrovers diskutiert wird [25, 49].

Die Ursache für das potenziell höhere Risiko von rechtsseitigen DLT-Dislokationen findet sich in der kurzen und äußerst variablen Distanz zwischen Karina und Abgang des rechten Oberlappenbronchus von 9–25 mm verglichen mit dem wesentlich längeren linksseitigen Hauptbronchus von durchschnittlich 40–56 mm Länge [15]. Folglich ist die Strecke über die sich der Doppellumentubus verschieben darf, ohne zur Herniation des Cuffs oder Okklusion eines Bronchus zu führen, bei linksseitigen Doppellumentuben deutlich länger als bei rechtsseitigen Doppellumentuben (15 mm vs. 8 mm) [33].

Berücksichtigt man, dass sowohl Extension als auch Flexion des Kopfes zu einer Verschiebung der Tubusspitze um bis zu 3,5 cm führen können, ist verständlich, dass ein rechtsseitiger endobronchialer Doppellumentubus oft nur sehr schwierig in Position gehalten werden kann. Einige Autoren verwenden daher bevorzugt den linksseitigen DLT [21, 33]. Bei der Entscheidung, ob ein rechts- oder linksseitiger DLT verwendet wird, sollten die anatomischen Besonderheiten des Bronchialbaums der rechten Lunge mit den daraus resultierenden Komplikationsmöglichkeiten berücksichtigt werden.

Durch den frühen Abgang des Oberlappenbronchus vom rechten Hauptbronchus ist der endobronchiale Cuff eines rechtsseitigen Doppellumentubus mit einem Ventilationsport für den rechten Oberlappen versehen. In Abhängigkeit vom Hersteller sind diese Cuffs unterschiedlich geformt. Durch die besondere Anatomie kann es unter Umständen schwierig sein, den DLT korrekt zu platzieren und eine sichere und uneingeschränkte Ventilation des Oberlappenbronchus zu gewährleisten. Dies setzt unter anderem auch eine umfassende Bronchoskopieerfahrung zur Lagekontrolle voraus, da die Auskultation zur Beurteilung einer korrekten Ventilation des Oberlappens als nicht zuverlässig genug anzusehen ist [54].

Als ► **anatomische Variation** entspringt bei einem von 250 Patienten (bei Kindern mit kongenitalen Herzvitien sogar bei einem von 50) der rechte Oberlappenbronchus vom rechten Hauptbronchus schon auf der Höhe der Karina oder aus der Trachea, was unweigerlich zum Verschluss des Oberlappenbronchus bei der Verwendung eines rechtssei-

► Cuffdruckmesser

Der größere äußere Durchmesser eines DLT birgt die Gefahr einer traumatischen Intubation

Die Intubation mit einem DLT ist häufig zeitaufwendiger und schwieriger als eine konventionelle Intubation

► Aspirationsrisiko

Ein rechtsseitiger endobronchialer Doppellumentubus kann oft nur sehr schwer in Position gehalten werden

Die Auskultation ist zur Beurteilung einer korrekten Ventilation des Oberlappens nicht zuverlässig genug

► Anatomische Variation

Tabelle 4

Indikationen und Kontraindikationen verschiedener Lungenseparationsverfahren

	Vorteile/Indikationen	Nachteile/Kontraindikationen
Bronchusblocker	• Intubation mit konventionellem Tubus möglich • Kein postoperativer Tubuswechsel notwendig • Absaugung und O₂-Insufflation eingeschränkt möglich • Blockung einzelner Lungensegmente möglich	• Obligatorische fiberoptische Kontrolle • Relativ hohes Dislokationsrisiko • Erschwerte Absaugung • Verzögerter Lungenkollaps • Nur für linke Lunge empfohlen • Reduktion des verfügbaren Tubuslumens • Obstruktion der Trachea bei Dislokation
UNIVENT-Tubus	• Kein postoperativer Tubuswechsel nötig • Endobronchiale Absaugung • CPAP und O₂-Insufflation eingeschränkt möglich • Blockung einzelner Lungensegmente möglich	• Obligatorische fiberoptische Kontrolle • Oft schwierige Positionierung im linken Hauptbronchus • Relativ großer Außendurchmesser • Risiko der Bronchusperforation durch starren Bronchusblocker • Gefahr der versehentlichen postoperativen Blockung mit Obstruktion
Doppellumentubus	• Verbesserte Bronchoskopiemöglichkeit • Geringer Beatmungswiderstand • Schnelle Lungendeflation • Endobronchiale Absaugung, CPAP und PEEP gut möglich • Sequenzieller Kollaps beider Lungen möglich • Zugriff auf beide Lungen immer möglich	• Obligatorische fiberoptische Kontrolle • Aspirationsgefährdeter Patient • Trachealstenosen/Verlagerungen • Vaskularisierte endotracheale Tumoren • Kinder <10 J.; kleinwüchsige Erwachsene • Schwierige Intubation • Postoperative Umintubation empfohlen

► a.-p.-Röntgenthoraxaufnahmen

► Weichteilödem

Tubus- oder Bronchusblockerdislokationen sind bei allen Verfahren möglich

► Atelektase

► Tracheaverlegung

gen DLT führt, sodass sich ein rechtsseitiger DLT bei diesen Patienten nicht positionieren lässt. Zur Identifizierung eines frühen Abgangs des rechten Oberlappenbronchus sollten präoperativ die ►a.-p.-Röntgenthoraxaufnahmen sorgfältig inspiziert werden.

Auch wenn einige Autoren den Standpunkt vertreten, dass ein linksseitiger Doppellumentubus für einige Tage in seiner Position belassen werden kann [31, 32], ist es generell wünschenswert, für eine postoperative Nachbeatmung eine Umintubation auf einen einlumigen Tubus vorzunehmen. Die Umintubation darf unter keinen Umständen sorglos erfolgen, weil durch ein zunehmendes ►Weichteilödem erschwerte Intubationsbedingungen vorliegen und die Umintubation mit erheblichen Komplikationen einhergehen kann. In dieser Situation sollten zur Sicherheit des Patienten großzügig Tubuswechselkatheter eingesetzt werden, weil diese dem Patienten eine zusätzliche Sicherheit bringen (■ Tabelle 4).

Komplikationen bei der Seitentrennung der Atemwege

Unabhängig von den spezifischen Risiken der einzelnen Verfahren zur Lungenseparation gibt es zahlreiche Komplikationen, die allen Verfahren mehr oder minder gemein sind und mit denen der Anästhesist auch vertraut sein sollte.

Tubus- oder Bronchusblockerdislokationen sind bei allen Verfahren der Seitentrennung der Atemwege möglich, was zu erheblicher Störung der Ventilation einer Lunge oder eines Lungenlappens und sogar zur trachealen Obstruktion führen kann. Eine Fehlpositionierung eines DLT nach distal in die ventilierte Lunge bedingt durch die zusätzliche ►Atelektase eine erhebliche Störung der Oxygenierung (■ Abb. 8).

Ein in die nichtventilierte Lunge zu tief vorgeschobener DLT oder Bronchusblocker führt zu einer unzureichenden Lungendeflation und damit zu schlechten Operationsbedingungen (■ Abb. 12, 13). Eine Dislokation eines DLT nach proximal bewirkt eine Cuffhernie über die Karina mit Obstruktion der kontralateralen Lunge (■ Abb. 14). Eine Verlagerung eines Bronchusblockers nach proximal kann zu einer akut lebensbedrohlichen kompletten ►Tracheaverlegung führen.

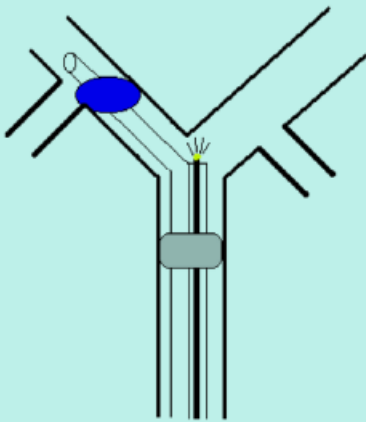


Abb. 12 ▲ Obstruktion des linken Oberlappenbronchus

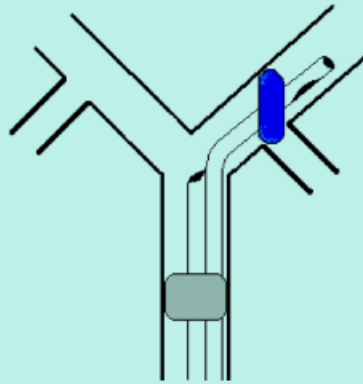


Abb. 13 ▲ Obstruktion des rechten Oberlappenbronchus

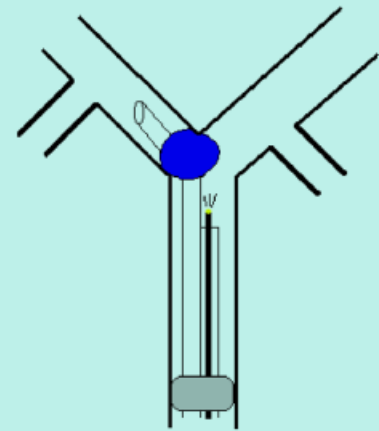


Abb. 14 ▲ Herniation des bronchialen Cuffs über die Karina

Insbesondere bei der Umlagerung des Patienten in die Seitenlage und bei operativen Manipulationen an der Lunge ist das Risiko für eine Tubusdislokation hoch. Aus diesem Grund sollte intraoperativ ein Bronchoskop jederzeit für eine Lagekontrolle zur Verfügung stehen.

Eine kontinuierliche Cuffdruckmessung der Bronchialmanschette ist über alle Maßen hilfreich, um Verlagerungen des Cuffs zu erkennen. Wenn der bronchiale Cuff nach proximal in die Trachea disloziert, führt dies zu einem sofortigem Abfall des Cuffdrucks.

Da sich der Cuff eines Bronchusblockers gelegentlich nicht ausreichend an die Form des Bronchiallumens anpasst, ist es dann schwierig, eine suffiziente Lungenseparation zu erreichen, weil entweder ein unzureichender Verschluss des zu blockenden Bronchiallumens oder eine Hyperinflation mit Druckschädigung der Wand und der Bronchialmukosa resultieren. In seltenen Fällen kann ein unkontrolliertes Blocken des bronchialen Cuffs zu einer Bronchialruptur führen [83]. Als Frühsymptome einer iatrogenen Bronchusruptur treten ein Mediastinal- und/oder ein Hauptemphysem sowie ein Spannungspneumothorax auf.

Kardiozirkulatorische und respiratorische Veränderungen

Thoraxchirurgische Operationen greifen erheblich in die Homöostase des menschlichen Organismus ein. Um die Patientensicherheit zu gewährleisten, muss im Rahmen einer Anästhesie der resultierenden Pathophysiologie Rechnung getragen werden. Besondere Beachtung finden die Veränderungen der Ventilation und Perfusion der Lungen unter den Bedingungen des eröffneten Thorax und seitengetrennter Beatmung. Die Auswirkungen auf die kardialen Funktion, insbesondere auf den rechten Ventrikel, dürfen auch nicht außer Acht gelassen werden, um ► **kardiovaskuläre Komplikationen** zu vermeiden.

Pathophysiologische Veränderungen bei der ELV

Der Kollaps einer Lunge während der Ein-Lungen-Ventilation führt dazu, dass zwischen 30 und 70% der Lunge von der Ventilation ausgeschaltet werden. Daraus resultiert eine erhebliche Zunahme des ► **Rechts-links-Shunts**, da nicht oxygeniertes Blut aus der atelektatischen Lunge dem oxygenierten Blut der ventilierten Lunge beigemischt wird. Dies kann zu einem kritischen Abfall des p_aO_2 führen.

Die Pulmonalarterien sind das einzige Gefäßsystem im Organismus, in dem Hypoxie nicht zu einer Vasodilatation, sondern zu einer Vasokonstriktion mit konsekutiver Verminderung der Perfusion führt. Dank im Rahmen der Evolution erworbener exzellenter Anpassungsmechanismen wird im Bereich der nichtventilierten Lunge eine geringere Perfusion (<50%) als bei der beidseitigen Ventilation beobachtet.

Die Durchblutung der nichtventilierten Lunge reduziert sich üblicherweise von erwarteten 40–50% auf beachtliche 20–35%, wodurch die Shuntfraktion abnimmt [1, 10, 12, 35, 39, 45,

Intraoperativ sollte jederzeit ein Bronchoskop für eine Lagekontrolle zur Verfügung stehen

In seltenen Fällen kann ein unkontrolliertes Blocken des Cuffs zu einer Bronchialruptur führen

Wichtig sind die Veränderungen der Ventilation und Perfusion der Lungen bei eröffnetem Thorax und seitengetrennter Beatmung
► **Kardiovaskuläre Komplikationen**

Zwischen 30 und 70% der Lunge werden bei Ein-Lungen-Ventilation ausgeschaltet
► **Rechts-links-Shunt**

Die Pulmonalarterien sind das einzige Gefäßsystem im Organismus, in dem Hypoxie zur Vasokonstriktion führt

Die reduzierte Perfusion der nichtventilierten Lunge geht mit einer Zunahme der Durchblutung der ventilierten Lunge einher

► Funktionelle Residualkapazität (FRC)

Die Oxygenierung ist bei der ELV in Seitenlage weniger beeinträchtigt als in Rückenlage

► Lungenperfusion

Der Kollaps einer Lunge und die daraus resultierende Atelektasenbildung führen zu einem mechanischem Perfusionshindernis

► Shuntfraktion

► Hypoxie

► Euler-Liljestrand-Reflex

Die Steuerung der HPV wird zu 80% von der alveolären O₂-Konzentration bestimmt

53, 58, 63]. Die reduzierte Perfusion der nichtventilierten Lunge geht konsequenterweise mit einer Zunahme der Durchblutung der ventilierten Lunge einher, was auch zur Aufrechterhaltung der Oxygenierung wesentlich beiträgt. Die Regulation der Lungenperfusion scheint ein multifaktorielles Geschehen zu sein, wobei die Bedeutung der einzelnen Faktoren auf die Oxygenierung und Perfusionsumverteilung Gegenstand kontroverser Debatten ist.

Auswirkungen der Patientenlagerung

Bereits durch die Narkoseinduktion und die Rückenlagerung nimmt die ► **funktionelle Residualkapazität (FRC)** infolge Tonusreduktion der Atemmuskulatur, Veränderung der Geometrie des Zwerchfells und Thoraxkompression um ca. 20% ab [59]. Durchschnittlich 10% des Lungengewebes sind nach einer Narkoseeinleitung atelektatisch [57]. Das Verbringen in die Seitenlage reduziert die FRC der ventilierten, unten liegenden Lunge durch eine zusätzliche mechanische Kompression durch das Mediastinum weiter. Trotz einer reduzierten FRC und einer erhöhten Vulnerabilität für Atelektasen der ventilierten unten liegenden Lunge ist die Oxygenierung bei der ELV in der Seitenlagerung wesentlich weniger beeinträchtigt als in Rückenlage [78].

Die Seitenlage des Patienten bedingt einen vertikalen Gravitationsgradienten und führt zu einer Umverteilung des Blutflusses in die unten liegende Lunge [43, 63]. Dabei reduziert sich in der Seitenlage die Perfusion der oben liegenden rechten Lunge von 55 auf etwa 45%, (bzw. von 45 auf ca. 35%, wenn die linke Lunge oben liegt) des thorakalen Blutflusses. Zusätzlich scheint die ► **Lungenperfusion** von zentral nach peripher abzunehmen [41], was möglicherweise die negativen Effekte einer reduzierten FRC der ventilierten Lunge mildert.

Mechanische Faktoren

Der Kollaps einer Lunge und die daraus resultierende Atelektasenbildung führen zu einem mechanischem Perfusionshindernis, was die Durchblutung der nichtventilierten Lunge weiter reduziert [35]. In welchem Ausmaß allerdings Atelektasen und der Lungenkollaps der nichtventilierten Lunge die Durchblutung reduzieren, ist nicht vollständig geklärt, wird aber oft nur als zweitrangig angesehen [37, 39, 60]. Demgegenüber können chirurgische Manipulationen an der nichtventilierten Lunge einen erheblichen Einfluss auf die Lungenperfusion haben [48].

Allerdings hängt das Ausmaß der ► **Shuntfraktion** während der Ein-Lungen-Ventilation unter anderem vom Funktionsstatus der kollabierten Lunge ab. Ist die nichtventilierte Lunge bereits schwer erkrankt, kann der Blutfluss in dieser Lunge bereits präoperativ schon so weit reduziert sein, dass nach dem Kollaps der Lunge mit keiner ausgeprägten Zunahme der Shuntfraktion zu rechnen ist [66].

Anders verhält es sich bei primär lungengesunden Patienten oder bei Patienten deren ventilierte Lunge deutliche Funktionseinschränkungen aufweist. In dieser Situation kann die Ein-Lungen-Ventilation mit einem erheblichen Rechts-links-Shunt einhergehen, und es ist eher mit einer passageren kritischen ► **Hypoxie** zu rechnen.

Hypoxische pulmonale Vasokonstriktion

Die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion (HPV) ist ein essenzieller physiologischer Mechanismus – ► **Euler-Liljestrand-Reflex** –, der die Lungenperfusion der Ventilation anpasst, um den pulmonalen Gasaustausch zu optimieren [80].

Die Steuerung der HPV wird zu 80% von der alveolären O₂-Konzentration und zu 20% von der gemischt-venösen O₂-Konzentration bestimmt [61]. Die HPV setzt innerhalb von Sekunden ein und führt zu einem reversiblen Anstieg des pulmonalen Gefäßtonus, wenn die alveoläre und/oder die gemischtvenöse O₂-Konzentration eine untere Schwelle unterschreitet [2]. Dadurch wird Blut aus regional schlecht belüfteten Lungenbezirken in besser ventilierte Areale umgeleitet und somit das Ventilations-Perfusions-Verhältnis optimiert und der Rechts-links-Shunt reduziert.

Der genaue Mechanismus der HPV ist nicht geklärt. Von den zahlreichen Erklärungsversuchen der HPV wird zzt. das Modell der spannungsabhängigen Kaliumkanäle am meisten favorisiert [80]. Es wird vermutet, dass eine zentralvenöse und/oder alveoläre Hypoxie sauerstoffsensitive Kaliumkanäle in der Muskulatur kleiner Pulmonalarterien hemmt. Eine daraus resultierende Membrandepolarisation öffnet spannungsabhängige L-Typ- Ca^{++} -Kanäle mit der Folge eines intrazellulären Ca^{++} -Einstroms und konsekutiver Vasokonstriktion [2, 61].

Der Einfluss der HPV auf die Oxygenierung während der Ein-Lungen-Ventilation wurde in zahlreichen Studien sowohl klinisch als auch experimentell untersucht. Es wurde dabei eine maximale Reduktion des Blutflusses durch eine hypoxische Lunge von ca. 50% ermittelt [14, 38, 44].

Daraus lässt sich für klinische Belange, unter der Annahme einer maximal ausgeprägten HPV, ein obligatorischer Rechts-links-Shunt von ungefähr 20% bei der Ein-Lungen-Ventilation ableiten [14]. Allerdings liegt die Shuntfraktion in klinischen Studien regelmäßig darüber, weil der physiologische Shunt Ventilationsstörungen der beatmeten Lunge sowie eine unvollständig ausgebildete HPV den Rechts-links-Shunt erhöhen.

Von besonderem Interesse ist dementsprechend die Frage nach dem geeignetsten **► Narkoseverfahren**, welches möglichst wenig mit der HPV interferiert und somit bei der Ein-Lungen-Ventilation zur Erhaltung einer suffizienten Oxygenierung beiträgt.

Während intravenöse Anästhetika und Opioide als unbedenklich angesehen werden und diese keinen direkten Effekt auf die HPV zu haben scheinen, ließen sich insbesondere in tierexperimentellen Studien eindeutige dosisabhängige inhibitorische Effekte von volatilen Anästhetika auf die HPV nachweisen [38, 43, 51]. Die älteren **► Inhalationsanästhetika** Halothan und Enfluran scheinen den arteriellen Sauerstoffpartialdruck bei der Ein-Lungen-Ventilation stärker negativ zu beeinflussen als die neueren **► volatilen Anästhetika** Isofluran, Sevofluran und Desfluran [69], wohingegen zwischen den einzelnen neueren volatilen Anästhetika keine relevanten Unterschiede bestehen [63, 67, 76, 77].

Allerdings lässt sich aus diesen Beobachtungen keine generelle Empfehlung zum Verzicht auf Inhalationsanästhetika während der Ein-Lungen-Ventilation ableiten. Denn die inhibitorischen Effekte der volatilen Anästhetika auf die HPV konnten in zahlreichen klinischen und tierexperimentellen Studien weder konsistent reproduziert werden [10, 62, 63], noch waren sie von überzeugender klinischer Relevanz [1, 12, 13, 16, 51, 53].

Der oftmals nur geringfügigen Verschlechterung der Oxygenierung durch volatile Anästhetika während der Ein-Lungen-Ventilation stehen die wünschenswerten Effekte der Inhalationsanästhetika gegenüber. Die gute Steuerbarkeit, die relativ geringen negativen kardiozirkulatorischen Effekte und ihre bronchodilatatorischen Eigenschaften lassen Inhalationsanästhetika im Rahmen von balancierten Anästhesieverfahren bei der Ein-Lungen-Ventilation geeignet erscheinen. Inwieweit Inhalationsanästhetika an der Lunge ähnliche ischaemieprotektive Effekte wie am Herzen aufweisen, ist derzeit nicht bekannt.

Da die Regulation der HPV überaus komplex ist, wird die Herstellung eines monokausalen Zusammenhangs zwischen einer beeinträchtigten HPV und der Applikation volatiler Anästhetika der Situation nicht gerecht. Zahlreiche weitere Faktoren interagieren mit der HPV und können diese modulieren. So ist die Ausprägung der HPV indirekt proportional zur Auswurfleistung des Herzens [64, 65].

Eine durch Anästhetika induzierte Abnahme des Herzzeitvolumens bedingt, dass der pulmonale Blutfluss bevorzugt in ventilierte Lungenareale umverteilt wird. Als Folge einer verminderten Herzleistung kann ein damit einhergehender Abfall der zentralvenösen Sauerstoffsättigung die HPV der nichtventilierten Lunge verstärken, sodass sich der Rechts-links-Shunt vermindert [39, 67]. Eine etwas höhere Shuntfraktion während einer Ein-Lungen-Ventilation mit Inhalationsanästhetika könnte somit auch durch die größere hämodynamische Instabilität unter i.v. Anästhetika (z. B. Propofol) bedingt sein [53].

Allerdings steigt durch eine reduzierte Herzleistung die O_2 -Extraktionsrate, was den Vorteil einer erhaltenen HPV durch Beimischung von stärker desoxygeniertem Shuntblut wieder aufhebt [62, 69].

Zusätzlich sollte bedacht werden, dass die HPV zur Umverteilung des pulmonalen Blutflusses während der ELV ca. 50% beiträgt und eine durch Inhalationsanästhetika in-

Zur Erklärung der HPV wird das Modell der spannungsabhängigen Kaliumkanäle am meisten favorisiert

Es wurde eine maximale Reduktion des Blutflusses durch eine hypoxische Lunge von ca. 50% ermittelt

► Narkoseverfahren

Intravenöse Anästhetika und Opioide werden bei der HPV als unbedenklich angesehen

► Inhalationsanästhetika

► Volatile Anästhetika

Die Ausprägung der HPV ist indirekt proportional zur Auswurfleistung des Herzens

Ein Abfall der zentralvenösen Sauerstoffsättigung kann die HPV der nichtventilierten Lunge verstärken

Durch eine reduzierte Herzleistung steigt die O_2 -Extraktionsrate

Eine durch Inhalationsanästhetika induzierte Hemmung der HPV um ca. 20% erhöht die gesamte Shuntfraktion nur um ca. 5–10%

► Thorakale Epiduralanästhesie (TEA)

Die Kombinationsanästhesie mit TEA wird als das Anästhesieverfahren der Wahl bei intrathorakalen Eingriffen angesehen

Durch die pathophysiologischen Vorgänge bei der ELV kann die Oxygenierung des Patienten beeinträchtigt werden

► Azidose

In der Praxis werden oft zweitrangige Störfaktoren eines suffizienten Gasaustausches überbewertet. Primäres Ziel ist, die adäquate Ventilation der beatmeten Lunge aufrechtzuerhalten

► Gefäßwiderstand

Die einfachste und effektivste Methode zur Aufrechterhaltung einer suffizienten Oxygenierung ist die Ventilation der beatmeten Lunge mit FIO_2 von 1,0

Die Patienten sollten druckkontrolliert beatmet werden

Während der Ein-Lungen-Phase wird ein Atemzugvolumen von 10–12 ml/kg empfohlen

duzierte Hemmung der HPV um ca. 20% die gesamte Shuntfraktion nur um ca. 5–10% erhöht [1, 10, 38].

Auch wenn tierexperimentell eine Beeinträchtigung der HPV durch eine ► **thorakale Epiduralanästhesie (TEA)** nicht nachgewiesen werden konnte [47], sind die Ergebnisse der klinischen Studien nicht so konsistent [29, 40, 74], sodass eine potenzielle Beeinflussung der Shuntfraktion durch eine TEA zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollends ausgeschlossen werden kann. Da jedoch die wünschenswerten Effekte einer TEA im Bereich der Thoraxchirurgie die potenziellen Nachteile überwiegen, wird eine Kombinationsanästhesie mit TEA als das Anästhesieverfahren der Wahl bei intrathorakalen Eingriffen angesehen [75] (Übersicht: Wiedemann et al. 2004 [81]).

Anästhesiologisches Management während der Ein-Lungen-Ventilation

Durch die pathophysiologischen Veränderungen bei der ELV kann die Oxygenierung des Patienten beeinträchtigt werden, sodass dem Anästhesisten mit seinem Atemwegsmanagement und seiner Beatmungsstrategie eine besondere Bedeutung zukommt. Die Seitenlagerung des Patienten, chirurgische Manipulationen und besonders der Wechsel von der beidseitigen Lungenventilation auf die Ein-Lungen-Beatmung können zu signifikanten Abfällen der Sauerstoffsättigung, zu einer gestörten CO_2 -Elimination, zu erhöhten Atemwegswiderständen und zu einer relevanten Erhöhung der Shuntfraktion führen.

Als kritische Grenze für eine unzureichende O_2 -Versorgung kann im Allgemeinen ein Abfall des $\text{p}_a\text{O}_2 < 70$ mmHg oder ein Abfall der O_2 -Sättigung $< 92\%$ angesehen werden. Weitere Hinweise auf ein ungenügendes Sauerstoffangebot können eine zunehmende ► **Azidose** oder ein Abfall der zentralvenösen Sauerstoffsättigung $< 50\%$ bzw. ein gemischtvenöser $\text{pO}_2 < 32$ mmHg sein.

Ein strukturiertes stufenweises Vorgehen zur Reduktion von Ventilations- und Oxygenierungsstörungen impliziert eine Bewertung der Relevanz der verschiedenen Faktoren, welche zur Verschlechterung der Oxygenierung beitragen. In der Praxis werden oft zweitrangige Störfaktoren eines suffizienten Gasaustausches überbewertet.

Es wird häufig übersehen, dass während der Ein-Lungen-Ventilation bei einer Störung der Oxygenierung als primäres Ziel die adäquate Ventilation der beatmeten Lunge aufrechtzuerhalten ist [35]. Intraoperativ auftretende Tubusdislokationen oder Verlegungen durch Sekret sind häufig und sollten als Erstes beseitigt werden. Klinisch können sich Tubusdislokationen und Sekretverlegungen frühzeitig durch das Auftreten eines erhöhten Atemwegsdrucks und/oder die Ausbildung eines Auto-PEEP manifestieren.

Während der Ein-Lungen-Ventilation sollten möglichst alle Maßnahmen vermieden werden, die mit der HPV interferieren. So führt eine Erhöhung des ► **Gefäßwiderstands** in der ventilierten Lunge zu einer Umverteilung des Blutflusses in die nichtventilierte Lunge, was ebenfalls die Shuntfraktion erhöht und die Oxygenierung verschlechtert.

Die einfachste und effektivste Methode zur Aufrechterhaltung einer suffizienten Oxygenierung ist die Ventilation der beatmeten Lunge mit FIO_2 von 1,0 [66]. Eine FIO_2 von 1,0 gewährleistet meistens eine ausreichende arterielle Sauerstoffspannung und führt zu einer Vasodilatation der Pulmonalgefäße mit einer entsprechenden Zunahme der Perfusion der ventilerten Lunge. Allerdings kann eine Beatmung mit 100% Sauerstoff die Entstehung von Resorptionsatelektasen begünstigen und somit möglicherweise die Shuntfraktion wieder erhöhen.

Beatmungsstrategien während der Ein-Lungen-Phase

Grundsätzlich sollten die Patienten spätestens beim Wechsel von der Zwei-Lungen- zur Ein-Lungen-Ventilation druckkontrolliert beatmet werden, was eine gleichmäßigere Atemgasverteilung gewährleistet und ungewollte Druckerhöhungen vermeidet.

Zur Beatmung während der Ein-Lungen-Phase wird ein Atemzugvolumen von 10–12 ml/kg empfohlen, da bei der Ein-Lungen-Ventilation relativ hohe Atemzugvolumina zur Rekrutierung von Alveolen notwendig sind [20]. Niedrigere Beatmungsvolumina führen zu einer Abnahme der funktionellen Residualkapazität; und höhere Volumina be-

dingen durch eine Druckerhöhung in der ventilierten Lunge eine Kompression und damit eine Widerstandserhöhung der pulmonalen Gefäße, wodurch eine Umverteilung von Blut in nichtventilierte Lungenareale resultiert.

Das ► **Atemminutenvolumen** sollte so gewählt werden, dass während der Ein-Lungen-Ventilation möglichst normale $p_a\text{CO}_2$ -Konzentrationen aufrechterhalten werden. Denn eine Hypokapnie bedingt eine Vasodilatation der nichtventilierten Lunge, und eine Hyperkapnie führt zu einer Vasokonstriktion der ventilierten Lunge.

Dabei sollte allerdings nicht außer Acht gelassen werden, dass bei der Ein-Lungen-Ventilation die endexpiratorisch gemessene CO_2 -Konzentration ($P_{\text{et}}\text{CO}_2$) wegen des gestörten Ventilations- und Perfusionsverhältnisses nur ein unzuverlässiger Parameter zur Abschätzung der arteriellen CO_2 -Konzentration ist [41].

Die Applikation von PEEP auf die ventilierte Lunge während der Ein-Lungen-Ventilation kann sowohl positive [1] als auch negative Effekte auf die Oxygenierung nach sich ziehen [30, 52]. Der Einfluss von PEEP auf die Oxygenierung hängt im Wesentlichen von der FRC bei der Ein-Lungen-Ventilation ab [30]. Da der pulmonale Gefäßwiderstand bei normaler FRC am niedrigsten ist, kann bei einer intraoperativ initial reduzierten FRC eine externe PEEP-Applikation eine normale funktionelle Residualkapazität aufrechterhalten und somit die Atelektasenbildung vermindern. Eine Überblähung der Lunge kann jedoch andererseits zur Kompression kleinerer Lungengefäße mit Blutumverteilung in die nichtventilierte Lunge führen.

In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass sich bei vielen thoraxchirurgischen Patienten intraoperativ ein Auto-PEEP entwickelt. Besonders Patienten mit einer präoperativ reduzierten FEV_1 und erhöhter FRC sind hiervon betroffen [9, 82]. Durch die Applikation eines externen PEEP wird der Auto-PEEP verstärkt und trägt somit zur ► **Hyperinflation** mit den resultierenden negativen Auswirkungen bei [70, 71].

Patienten mit normaler Lungenfunktion sind bei der ELV häufiger von kritischen Abfällen der Sauerstoffsättigung (► **Desaturierung**) betroffen und profitieren eher von einer PEEP-Applikation [71]. Eine individuelle Entscheidung zum PEEP-Einsatz ist unter diesen Bedingungen notwendig [11].

Analog zur konventionellen Zwei-Lungen-Ventilation muss das Beatmungsregime dem Funktionszustand der Lunge angepasst werden. Vorgeschädigte Lungen (COPD, Emphysem) sind besonders vulnerabel für die Entwicklung einer dynamischen Hyperinflation mit der Generierung eines intrinsischen PEEP und dem erhöhten Risiko für die Entstehung eines Baro- und/oder ► **Volutraumas** [70, 73]. Diese Patienten profitieren während der Ein-Lungen-Ventilation normalerweise von einer Begrenzung des inspiratorischen Spitzendrucks ($<30 \text{ mmHg}$), einem reduzierten Atemzugvolumen ($<5 \text{ ml/kg}$) [73] und einer reduzierten Atemfrequenz (10–14/min) mit einer verlängerten Expirationszeit (I:E-Verhältnis 1:3 bis 1:4) [81, 84]. Eine sich dabei entwickelnde Hyperkapnie normalisiert sich nach der Ein-Lungen-Ventilation und wird toleriert.

Die Anwendung eines niedrigen (5–10 $\text{cm H}_2\text{O}$) kontinuierlichen positiven Atemwegsdrucks (CPAP) auf die nichtventilierte Lunge, scheint mit deutlichen Oxygenierungsvorteilen einherzugehen [56]. Nach Applikation eines normalen Atemzugvolumens auf die nichtventilierte Lunge kann CPAP einem Totalkollaps der nichtventilierten Lunge entgegenwirken und erlaubt durch eine apnoische Oxygenierung eine gewisse Sauerstoffaufnahme der nichtventilierten Lunge. Der Rechts-links-Shunt und der pulmonale Blutfluss in die nichtventilierte Lunge scheint sich unter CPAP zu reduzieren mit der Konsequenz einer besseren Oxygenierung.

Nach Benumof [12] sollte bei unzureichender Oxygenierung während der ELV zunächst die nichtventilierte Lunge mit einem CPAP von 5 $\text{cm H}_2\text{O}$ belegt werden. Im nächsten Schritt wird auf die ventilierte Lunge ein PEEP von 5 $\text{cm H}_2\text{O}$ appliziert. Im Bedarfsfall ist eine CPAP-Steigerung auf 10 $\text{cm H}_2\text{O}$ auf die nichtventilierte Lunge und eine PEEP-Anhebung von ebenfalls 10 $\text{cm H}_2\text{O}$ auf die ventilerte Lunge möglich.

Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass der unvollständige Lungenkollaps der nichtventilierten Lunge durch die CPAP-Applikation die Übersicht über den Operationsitus empfindlich beeinträchtigen kann. Aus diesem Grund sollte die CPAP-Applikation auf die nichtventilierte Lunge, sofern möglich, vermieden werden. Für minimal-invasi-

► Atemminutenvolumen

Die endexpiratorisch gemessene CO_2 -Konzentration ($P_{\text{et}}\text{CO}_2$) ist bei der ELV nur ein unzuverlässiger Parameter zur Abschätzung der arteriellen CO_2 -Konzentration

Der Einfluss von PEEP auf die Oxygenierung hängt von der FRC bei der Ein-Lungen-Ventilation ab

Bei vielen thoraxchirurgischen Patienten entwickelt sich intraoperativ ein Auto-PEEP

► Hyperinflation

► Desaturierung

► Volutrauma

CPAP kann einem Totalkollaps der nichtventilierten Lunge entgegenwirken

Für die Gabe volatiler Anästhetika bis zu einer Konzentration von 1 MAC scheinen die Auswirkungen auf die HPV ohne klinische Relevanz zu sein

► **Kardiodepressive Effekte**

► **Prostaglandin E₁**

► **Almitrine**

Tabelle 5

Beatmungsstrategie bei Ein-Lungen-Ventilation

Zwei-Lungen-Phase	PCV oder VCV
Ein-Lungen-Phase	PCV P_{insp} : <30–35 cm H ₂ O AZV 10–12 ml/kg (5–7ml/kg bei hohen Beatmungsdrücken) FIO_2 : 50–100% PaCO_2 : 35–40 mmHg (ggf. permissive Hyperkapnie bei zu hohen Beatmungsdrücken) Bei Hypoxie (Schema n. Benumof) 1. CPAP von 5 cm H ₂ O auf nichtventilierte Lunge 2. PEEP von 5 cm H ₂ O auf ventilierte Lunge 3. CPAP von 10 cm H ₂ O auf nichtventilierte Lunge 4. PEEP von 10 cm H ₂ O auf ventilierte Lunge 5. Kurzfristige Wiederaufnahme der Zwei-Lungen-Ventilation
Zwei-Lungen-Phase	PCV oder VCV

ve intrathorakale Eingriffe ist nur eine moderate O₂-Einwaschung (z. B. O₂ 2 l/min über ein normales CPAP-System) bei einem CPAP=0 geeignet.

In-vitro- und tierexperimentelle Studien konnten eindeutig inhibitorische Effekte aller Inhalationsanästhetika auf die HPV nachweisen. Die einzelnen Substanzen unterscheiden sich in ihren Effekten auf die HPV dabei nur marginal. Werden volatile Anästhetika bis zu einer Konzentration von 1 MAC verabreicht, scheinen die Auswirkungen ohne klinische Relevanz zu sein, sodass Inhalationsanästhetika im Rahmen balancierter Anästhesietechniken bei der Ein-Lungen-Ventilation als günstig angesehen werden.

Intravenöse Anästhetika haben zwar keinen Effekt auf die HPV, gehen allerdings häufig durch ihre stärker ausgeprägten ► **kardiodepressiven Effekte** mit einer erhöhten kardiovaskulären Instabilität einher. Ein balanciertes Narkoseverfahren eignet sich bei kardial und pulmonal eingeschränkten Patienten.

Zur Verbesserung der Oxygenierung während der Ein-Lungen-Ventilation wurden zahlreiche Versuche unternommen, den pulmonalen Blutfluss pharmakologisch zu modulieren. Während die selektive Applikation von ► **Prostaglandin E₁** in die Pulmonalarterie der ventilierten Lunge sowohl die Shuntfraktion als auch die Oxygenierung verbesserte [28], war dieser Effekt bei der inhalativen Applikation weder für Prostazyklin noch für NO nachweisbar [23, 66].

Demgegenüber konnte in einer kleinen Studie an 18 Patienten die Oxygenierung durch die intravenöse Zufuhr des pulmonalen Vasokonstriktors ► **Almitrine** signifikant verbessert werden, sodass Almitrine unter besonderen Voraussetzungen wie videoassistierte Thoraxchirurgie oder minimal-invasive Herzchirurgie möglicherweise einen klinischen Stellenwert erlangen könnte [36]. Allerdings ist Almitrine zzt. in Deutschland für diese Indikation nicht zugelassen (■ **Tabelle 5**).

Fazit für die Praxis

Eine Seitentrennung der Atemwege ist indiziert bei Bronchiektasen, intrapulmonalen Abszessen, massiver Hämoptyse, raumfordernden Lungenzysten oder Emphyseblasen, bronchopleuraler Fistel, tracheobronchialer Verletzung und traumatischer Parenchymzerstörung sowie bei allen intrathorakalen Eingriffen zur Verbesserung der Operationsbedingungen und -ergebnisse. Zur Seitentrennung der Atemwege stehen rechtsseitige oder linksseitige Doppellumentuben, der Univent-Tubus mit integriertem Bronchusblocker oder Bronchusblockerkatheter nach Arndt und Cohen zur Verfügung. Die Doppellumentubation ist das am weitesten verbreitete Verfahren.

Zur Minimierung der Atemwegswiderstände, zur sicheren Positionierung und zur Vermeidung eines Bronchustraumas durch übermäßigen endobronchialen Manschettendruck sollte der Doppellumentubus mit größtmöglichem Durchmesser verwendet wer-

den. Passt ein Doppellumentubus durch das Krikoid, so ist sein endobronchialer Schenkel im entsprechenden Hauptbronchus zu positionieren. Abgesehen von einer klinischen Kontrolle der korrekten Tubuslage sollte diese grundsätzlich fiberoptisch und bereits in Rückenlage erfolgen, damit bei Fehlpositionierung bzw. intraoperativer Dislokation umgehend korrigiert werden kann. Beim Fehlen eines Bronchoskops lässt sich die Platzierung des endobronchialen Schenkels des Doppellumentubus durch kontinuierliche Messung des endobronchialen Cuffdrucks steuern und durch kontinuierliche Spirometrie oder Dualkapnometrie überwachen.

Bei Kindern unter 8 Jahren, aspirationsgefährdeten Patienten sowie bei erschwerten Intubationsbedingungen sind Bronchusblocker zur Seitentrennung der Atemwege erforderlich. Die Verfügbarkeit eines geeigneten fiberoptischen Bronchoskops und entsprechende Bronchoskopieerfahrung ist bei Verwendung eines Bronchusblockers unabdingbar. Die Ausschaltung einer Lunge aus der Ventilation führt in Seitenlage infolge Fehlverteilung von Ventilation und Perfusion zu einem theoretischen Rechts-links-Shunt von 40–50%. Der Rechts-links-Shunt unter Ein-Lungen-Ventilation hängt von der Durchblutung der nichtventilierten Lunge ab. Durch die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion und gravitationsbedingte Effekte auf den Blutfluss beträgt der tatsächliche Rechts-links-Shunt nur 20–30%, sodass auch unter Ein-Lungen-Beatmung üblicherweise eine suffiziente Oxygenierung gewährleistet wird. Obwohl die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion durch volatile Anästhetika gedämpft wird, ist klinisch der Einfluss der Inhalationsanästhetika auf den Rechts-links-Shunt und den p_aO_2 in der Regel nicht relevant, weil Veränderungen des HZV und der Lungendurchblutung infolge chirurgischer Stimulation die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion viel stärker beeinflussen.

Bei unzureichender Oxygenierung während einer Ein-Lungen-Ventilation sind zunächst mechanische Ventilationsbarrieren durch Sekret oder Tubusfehlagen auszuschließen und zu beseitigen. Die Applikation eines CPAP von 5 cm H_2O auf die nichtventilierte Lunge und die druckkontrollierte Beatmung der ventilierten Lunge mit einem PEEP von 5 cm H_2O und mit einer FiO_2 1,0 trägt üblicherweise zur Sicherung der Oxygenierung während der Ein-Lungen-Ventilation bei. Sollten diese Maßnahmen unzureichend sein, ist vorübergehend eine Zwei-Lungen-Beatmung erforderlich. Pharmakologisch ist eine Blutumverteilung und eine Abnahme des Rechts-links-Shunts mit dem pulmonalen Vasokonstriktor Almitrine zu erreichen.

Korrespondierender Autor

Prof. Dr. J. Motsch

Klinik für Anaesthesiologie, Thoraxklinik am Universitätsklinikum Heidelberg,
Amalienstr. 5, 69126 Heidelberg
E-Mail: johann.motsch@thoraxklinik-heidelberg.de

Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

- Archer S, Michelakis E (2002) The mechanism(s) of hypoxic pulmonary vasoconstriction: potassium channels, redox O_2 sensors, and controversies. *News Physiol Sci* 17: 131–137
- Arndt GA, DeLessio ST, Kranner PW, Orzepowski W, Ceranski B, Valtysson B (1999) One-lung ventilation when intubation is difficult – presentation of a new endobronchial blocker. *Acta Anaesthesiol Scand* 43: 356–358
- Bahk JH, Oh YS (1998) A new and simple maneuver to position the left-sided double-lumen tube without the aid of fiberoptic bronchoscopy. *Anesth Analg* 86(6): 1271–1275
- Benumof JL (1985) One-lung ventilation and hypoxic pulmonary vasoconstriction: implications for anesthetic management. *Anesth Analg* 64: 821–833
- Benumof JL, Partridge BL, Salvatierra C, Keating J (1987) Margin of safety in positioning modern double-lumen endotracheal tubes. *Anesthesiology* 67: 729–738
- Brodsky JB, Lemmens HJM (2003) Left double-lumen tubes: clinical experience with 1,170 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 17: 289–298
- Campos JH, Massa FC, Kernstine KH (2000) The incidence of right upper-lobe collapse when comparing a right sided double-lumen tube versus a modified left double-lumen tube for left-sided thoracic surgery. *Anesth Analg* 90: 535–540
- Campos JH (2002) Current techniques for perioperative lung isolation in adults. *Anesthesiology* 97: 1295–1301
- Campos JH (2003) An update on bronchial blockers during lung separation techniques in adults. *Anesth Analg* 97: 1266–1274

29. Chow MYH, Goh MH, Boey SK, Thirugnanan A, Ip-Yam PC (2003) The effects of remifentanyl and thoracic epidural on oxygenation and pulmonary shunt fraction during one-lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 17: 69–72
30. Cohen E, Eisenkraft JB (1996) Positive end-expiratory pressure during one-lung ventilation improves oxygenation in patients with low arterial oxygen tensions. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 10: 578–582
40. Garutti I, Quintana B, Olmedilla L, Cruz A, Barranco M, DeLucas EG (1999) Arterial oxygenation during one-lung ventilation: combined versus general anesthesia. *Anesth Analg* 88: 494–499
42. Grocott HP, Darrow TR, Whiteheart DL, Glower DD, Stafford Smith M (2003) Lung isolation during port-access cardiac surgery: Double-lumen endotracheal tube versus single-lumen endotracheal tube with a bronchial blocker. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 17: 725–727
44. Hambraeus-Jonzon K, Bindsløv L, Mellgard AJ, Hedenstierna G (1997) Hypoxic pulmonary vasoconstriction in human lungs: A stimulus response study. *Anesthesiology* 86: 308–315
45. Hedenstierna G, Reber A (1996) Manipulating pulmonary blood flow during one-lung anesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 40: 2–4
46. Henderson JJ, Popat MT, Latto IP, Pearce AC (2004) Difficult airway society guidelines for management of the unanticipated difficult intubation. *Anesthesia* 59: 675–694
48. Ishikawa S, Nakazama K, Makita K (2003) Progressive changes in arterial oxygenation during one-lung anaesthesia are related to the response to compression of the non-dependent lung. *Br J Anaesth* 90(1): 21–26
50. Kabon B, Walzl B, Leitgeb J, Kapral S, Zimpfer M (2001) First experience with a fiberoptic directed wire-guided endobronchial blockade in severe pulmonary bleeding in an emergency setting. *Chest* 120: 1399–1402
54. Klein U, Karzai W, Bloos F, Wohlfarth M, Gottschall R, Fritz H, Seifert A (1998) Role of fiberoptic bronchoscopy in conjunction with the use of double-lumen tubes for thoracic anesthesia: a prospective study. *Anesthesiology* 88: 346–350
55. Kuhlman G, Legros C, Laloe PA, Puyo P, Fischler M (2003) The wire-guided, endobronchial-blocker as a solution to provide one-lung ventilation when a double-lumen endotracheal tube is malpositioned. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 17: 636–637
57. Magnusson L, Spahn DR (2003) New concepts of atelectasis during general anesthesia. *Br J Anaesth* 91(1): 61–72
58. Malmkvist G, Fletcher R, Nordström L, Werner O (1989) Effects of lung surgery and one-lung ventilation on pulmonary arterial pressure, venous admixture and immediate postoperative lung function. *Br J Anaesth* 63: 696–701
59. Max M, Dembinski R (2000) Pulmonaler Gasaustausch in Narkose. *Anaesthesist* 49: 771–783
65. Russel WJ, James MF (2004) The effects on arterial haemoglobin oxygen saturation and on shunt of increasing cardiac output with dopamine or dobutamine during one-lung ventilation. *Anaesth Intensive Care* 32: 644–648
68. Seymour AH (2003) The relationship between the diameters for the adult cricoid ring and main tracheobronchial tree: a cadaver study to investigate the basis for double-lumen tube selection. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 17: 299–301
70. Slinger PD, Hickey DR (1998) The interaction between applied PEEP and auto-PEEP during one-lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 12: 133–136
75. Von Dossow V, Welte M, Zaune U et al. (2001) Thoracic epidural anesthesia combined with general anesthesia: the preferred anesthetic technique for thoracic surgery. *Anesth Analg* 92: 848–854
78. Watanabe S, Noguchi E, Yamada S, Hamada N, Kano T (2000) Sequential changes of arterial oxygen tension in the supine position during one-lung ventilation. *Anesth Analg* 90: 28–36
81. Wiedemann K, Männle C, Lauer M, Herth F (2004) Anästhesie in der Thoraxchirurgie. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 39: 616–650
84. Zollinger A (1999) Anästhesie in der Thoraxchirurgie. *Anaesthesist* 48: 193–204

Das komplette Literaturverzeichnis ...

... finden Sie in der elektr. Version

Bitte beachten Sie:
Antwortmöglichkeit nur online unter: **cme.springer.de**
Die Frage-Antwort-Kombinationen werden online
individuell zusammengestellt.
Es ist immer nur eine Antwort möglich.

Fragen zur Zertifizierung

(A) Beim Wechsel von der Zwei-Lungen- zur Ein-Lungen-Ventilation muss das Atemzugvolumen unbedingt reduziert werden, weil (B) eine dynamische Überblähung auf jeden Fall zu vermeiden ist.

- ☐ Aussage A und B sind richtig, die Verknüpfung ist richtig.
- ☐ Aussage A und B sind richtig, die Verknüpfung ist falsch.
- ☐ Aussage A ist richtig, B ist falsch.
- ☐ Aussage A ist falsch, B ist richtig.
- ☐ Aussage A und B sind falsch.

Welche Maßnahmen können ergriffen werden, wenn sich unter einer Ein-Lungen-Ventilation eine Hypoxämie entwickelt?

- I. Die FIO_2 auf 100% erhöhen
- II. Die korrekte Tubuslage überprüfen
- III. Die ventilierte Lunge mit PEEP belegen
- IV. Die nichtventilierte Lunge mit CPAP belegen
- V. Wieder zur Zwei-Lungen-Ventilation wechseln
- ☐ Aussage I., II. und IV. sind richtig.
- ☐ Aussage I., IV. und V. sind richtig.
- ☐ Aussage I., II., III. und IV. sind richtig.
- ☐ Aussage I., II. und V. sind richtig.
- ☐ Alle Aussagen sind richtig.

Was trifft für ein korrektes Vorgehen bei der Doppellumentubation nicht zu?

- ☐ Der Doppellumentubus sollte normalerweise nicht bis zum Erreichen eines Widerstands eingeführt werden.
- ☐ Der bronchiale Cuff soll zur sicheren Seitentrennung mit wenigstens 4 ml Luft geblockt werden.
- ☐ Eine fiberoptische Lagekontrolle eines rechtsseitigen Doppellumentubus ist wegen der Gefahr der Oberlappenobstruktion immer notwendig.

- ☐ Die expiratorische seitengetrennte CO_2 -Messung ist geeignet, um eine sichere Abdichtung bei Lungenseparation zu kontrollieren.
- ☐ Eine Doppellumentubation ist für die Lavage einer Lunge das Lungenseparationsverfahren der Wahl.

Was trifft für Bronchusblocker nicht zu?

- ☐ Über das innere Lumen des Arndt-Blockers kann abgesaugt und CPAP generiert werden.
- ☐ Univent-Tuben sind für die Ileuseinleitung geeignet.
- ☐ Bronchusblocker können vor einer endotrachealen Intubation platziert werden.
- ☐ Die Dislokation eines Bronchusblockers kann zu einer trachealen Obstruktion führen.
- ☐ Über das innere Lumen eines Fogarty-Katheters kann Sauerstoff insuffliert werden.

Was trifft für die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion (HPV) zu?

- ☐ Ein HPV-induzierter Bronchospasmus ist durch Inhalationsanästhetika reversibel.
- ☐ Hyperventilation kann eine HPV um 5–10% verstärken.
- ☐ Propofol verstärkt die HPV um ca. 30%.
- ☐ Inhalationsanästhetika schwächen die HPV um ca. 20% ab.
- ☐ Eine maximal ausgeprägte HPV reduziert bei der Ein-Lungen-Ventilation den Blutfluss durch die nichtventilierte Lunge um ca. 35%.

(A) Die korrekte Position eines Doppellumentubus lässt sich intraoperativ mit einem Cuffdruckmesser am bronchialen Schenkel kontinuierlich überwachen, weil (B) das Risiko einer Tubusdislokation bei Doppellumentuben niedriger ist als bei herkömmlichen Bronchusblockern.

- ☐ Aussage A und B sind richtig, die Verknüpfung ist richtig.
- ☐ Aussage A und B sind richtig, die Verknüpfung ist falsch.
- ☐ Aussage A ist richtig, B ist falsch.
- ☐ Aussage A ist falsch, B ist richtig.
- ☐ Aussage A und B sind falsch.

Was trifft für die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion nicht zu?

- ☐ Sie wird durch O_2 -sensitive Kaliumkanäle in der Muskulatur kleiner Pulmonalarterien vermittelt.
- ☐ Die Steuerung wird hauptsächlich von der alveolären O_2 -Konzentration bestimmt.
- ☐ Sie wird von der gemischtvenösen pO_2 -Konzentration beeinflusst.
- ☐ Sie wird durch eine Steigerung des Herzminutenvolumens verstärkt.
- ☐ Sie wird stärker durch Inhalationsanästhetika als durch intravenöse Anästhetika beeinflusst.

Die Ein-Lungen-Ventilation ist generell indiziert ...

- I. bei ARDS.
- II. bei massiven Hämoptysen.
- III. bei thorakalen Schussverletzungen.
- IV. bei akuter Aspiration.
- V. bei großen Emphyseblasen.
- VI. beim akuten Hämatothorax.
- ☐ Aussage II., III. und VI. sind richtig.
- ☐ Aussage I., II., IV. und V. sind richtig.
- ☐ Aussage II., III. und V. sind richtig.

- ☐ Aussage II., III., V. und VI. sind richtig.
- ☐ Alle Aussagen sind richtig.

Welche Antwort ist richtig?

Beim Wechsel von der Zwei-Lungen- zur Ein-Lungen-Ventilation ...

- ☐ muss immer das AZV erniedrigt werden.
- ☐ ist in Seitenlage mit einer schlechteren Oxygenierung als in Rückenlage zu rechnen.
- ☐ ist die Shuntfraktion vom präoperativen Funktionsstatus der kollabierten Lunge abhängig.
- ☐ kann bei schlechter Oxygenierung die nichtventilierte Lunge mit NO vernebelt werden.
- ☐ Sollte die Beatmung volumenkontrolliert erfolgen.

Welche Aussage zum Doppellumentubus ist falsch?

- ☐ Eine fiberoptische Kontrolle der Lage eines Doppellumentubus sollte nach klinisch korrekter Positionierung vorgenommen werden
- ☐ Patientenlagerung und chirurgische Manipulationen führen häufiger zur Dislokation eines Doppellumentubus nach proximal als nach distal.
- ☐ Ein zu kleiner Doppellumentubus birgt das Risiko einer Oberlappenobstruktion oder einer Bronchialruptur
- ☐ Die korrekte Lage eines linksseitigen Doppellumentubus lässt sich mittels fiberoptischer Kontrolle durch das tracheale und bronchiale Lumen verifizieren.
- ☐ Als anatomische Variation entspringt der linke Oberlappenbronchus bei 1/250 Patienten nahe der Karina vom linken Hauptbronchus oder aus der Trachea.

Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate auf cme.springer.de verfügbar.
Den genauen Einsendeschluss erfahren Sie unter cme.springer.de.