

One-lung ventilation

T. Loop



www.ai-online.info

► **Zitierweise:** Loop T: Einlungenventilation. Anästh Intensivmed 2020;61:579–586.
DOI: 10.19224/ai2020.579

Zertifizierte Fortbildung

CME online

BDA- und DGAI-Mitglieder müssen sich mit ihren Zugangsdaten aus dem geschlossenen Bereich der BDA- und DGAI-Webseite unter der Domain www.cme-anesthesiologie.de anmelden, um auf das Kursangebot zugreifen zu können.

Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Schlüsselwörter

Einlungenventilation – Atemwegsmanagement – Doppellumentubus – Bronchusblocker

Keywords

One-lung Ventilation – Airway Management – Double-lumen Tube – Bronchial Blocker

Zusammenfassung

Die Einlungenventilation im Rahmen thoraxchirurgischer Eingriffe ist ein zentraler Bestandteil in der Thoraxanästhesie und wird durch die endobronchiale Platzierung eines Doppellumentubus oder eines Bronchusblockers ermöglicht. Die Indikation zur Einlungenventilation umfasst neben den lungenchirurgischen Operationen auch andere chirurgische Prozeduren an thorakalen Strukturen oder seltenerer patientenspezifische Indikationen. Die technischen Atemwegshilfen der Separation der beiden Lungenflügel umfasst Doppellumentuben und Bronchusblocker. Die ausgewiesene Kenntnis der tracheobronchialen Anatomie bis zur Segmentebene durch den Anästhesisten ist ebenso notwendig, wie der standardmäßige Einsatz einer flexiblen Fiberoptik. Diese Übersichtsarbeit gibt grundlegende Empfehlungen für den klinischen Alltag.

Summary

One-lung ventilation is a major component of anaesthesiologic management for thoracic surgery and is achieved either by endobronchial placement of a double-lumen tube or through utilisation of a bronchus blocker. The indications for one-lung ventilation not only include lung surgery but also other surgical interventions involving thoracic structures or less common patient-specific factors. Double-lumen tubes and bronchus blockers constitute the technical basis of lung separation. The anaesthesiologist must have proven knowledge of the tra-

Einlungenventilation

cheobronchial anatomy including the segmental bronchi; routine use of flexible fiberoptic bronchoscopy is equally essential. This review article provides fundamental recommendations with respect to everyday clinical routine.

Einleitung

Die Anästhesie thoraxchirurgischer Patienten ist dadurch gekennzeichnet, dass von Seiten des Atemwegsmanagements, der Beatmung aufgrund der Einlungenventilation (ELV), der kardiopulmonalen Komorbidität und der hohen Inzidenz postoperativer pulmonaler Komplikationen besondere Kenntnisse, Techniken und Kompetenzen verlangt werden.

Dieses Manuskript soll die Methoden darstellen, praktische Hilfestellungen anbieten und konkrete Empfehlungen illustrieren, um die Sicherheit für den Patienten zu gewährleisten.

Sowohl für die überwiegende Anzahl thoraxchirurgischer Eingriffe als auch für Operationen an thorakalen Strukturen (z.B. Ösophagus, Aorta, Wirbelsäule) ist eine Lungenseparation mit konsekutiver ELV oder seitentrennter Ventilation indiziert. Sie dient durch die Totalatektase der Lunge der Optimierung der Operationsbedingungen. In selteneren Fällen ist eine Seitentrennung der Lungen indiziert, um die Aspiration von infektiösem Material oder Blut von

einer Lungenseite auf die andere zu verhindern oder um bei großen bronchopleuralen Fisteln die Ventilation über den anderen Lungenflügel zu ermöglichen (Tab. 1).

Die **Pathophysiologie des Gasaustausches während der ELV** wird grundsätzlich analog zur normalen Zweilungenventilation durch die für die Diffusion notwendige Nähe von Blut und gasförmigen Arealen bestimmt. Der effiziente Gasaustausch von Sauerstoff und CO₂ ist von dem regionalen Ventilations- und Perfusionsverhältnis (V/P-ratio) abhängig. An den jeweiligen Grenzen von Totraum (ca. 2 ml/kg; V/P-ratio = ∞) und Shunt (V/P-ratio = 0) existiert ein großes Spektrum von prinzipiell „Alveolenbezogenen“ V/P-Verhältnissen.

Welches Atemwegsmanagement ist für die Seitentrennung der Lunge und ELV zu empfehlen und indiziert?

Moderne Doppellumentuben (DLT) ermöglichen den selektiven Kollaps einer und die Ventilation der anderen Lunge. Eine Seitentrennung der Atemwege ist auch durch einen Bronchusblocker oder einen Uni-vent™-Tubus möglich.

Die Asymmetrie der tracheobronchialen Anatomie spiegelt sich im Design des rechten und linken DLT wider. Der DLT ist gabelförmig, hat ein bronchiales und ein tracheales Lumen, welches distal des trachealen Cuffs endet (Abb. 1). Er wird in den Größen 26 Fr, 28 Fr, 32 Fr, 35 Fr, 37 Fr, 39 Fr und 41 Fr von verschiedenen Firmen angeboten (Fr = Außendurchmesser in „French“; Tab. 2). Der **linksseitige DLT** wird am häufigsten verwendet (Abb. 1, linkes Bild). Der **rechtsläufige DLT** erlaubt über eine zusätzliche Öffnung bzw. einen Port die Ventilation des rechten Oberlappens (Abb. 1, rechtes Bild). Die Platzierung ist schwieriger und speziellen Indikationen wie z.B. hilusnahen Resektionen vorbehalten. Im direkten Vergleich zum linken

DLT ist der rechte durch eine geringere Sicherheitstoleranz (die korrekte Lage betreffend) charakterisiert. Darüber hinaus existiert ein **DLT mit einem optischen Sensor bzw. einer integrierten Kamera**, der eine einfachere Platzierung und eine kontinuierliche visuelle Überwachung der Tubuslage gewährleisten soll (Abb. 2, mittleres Bild). Er besitzt zudem die Option, durch eine Art Ventilmechanismus die Seitentrennung und Atelektase ohne Abklemmen zu erzeugen (Abb. 2, rechtes Bild). Darüber hinaus sind

spezielle **Doppellumentrachealkanülen** für Patienten mit einem Tracheostoma verfügbar.

Die fiberoptische Lagekontrolle mittels Bronchoskopie ist obligat und muss nach Lagerung des Patienten erneut überprüft werden (Abb. 3).

Sollte sich am Ende des Eingriffs die Notwendigkeit ergeben, dass der Patient nachbeatmet werden muss, so ist

Tabelle 1

Indikationen für die Einlungenventilation.

chirurgisch	patientenbezogen
Lungenparenchym: Segmentresektion, Lobektomie, Pneumonektomie, Manschettenresektion, Lungentransplantation	Prävention der kontralateralen Lunge vor Infektion (Lungenabszess) oder Blut
intrathorakale Eingriffe: Thorakoskopie, Ösophagusresektion, anteriore Wirbelsäuleneingriffe, thorakale Aortenaneurysmen, Thymektomie, Zwerchfelloperationen, Trichterbrustkorrekturen	Verbesserung von Ventilation und Oxygenierung bei bronchopleuralen Fisteln sowie bei einseitigen Lungenerkrankungen (Bullae, Zysten)

Abbildung 1



Design kommerzieller Doppellumentuben (DLT) links bzw. rechts in der Reihenfolge Medtronic® links + rechts bronchial bzw. Rüsch® links + rechts bronchial (modifiziert nach [2]).

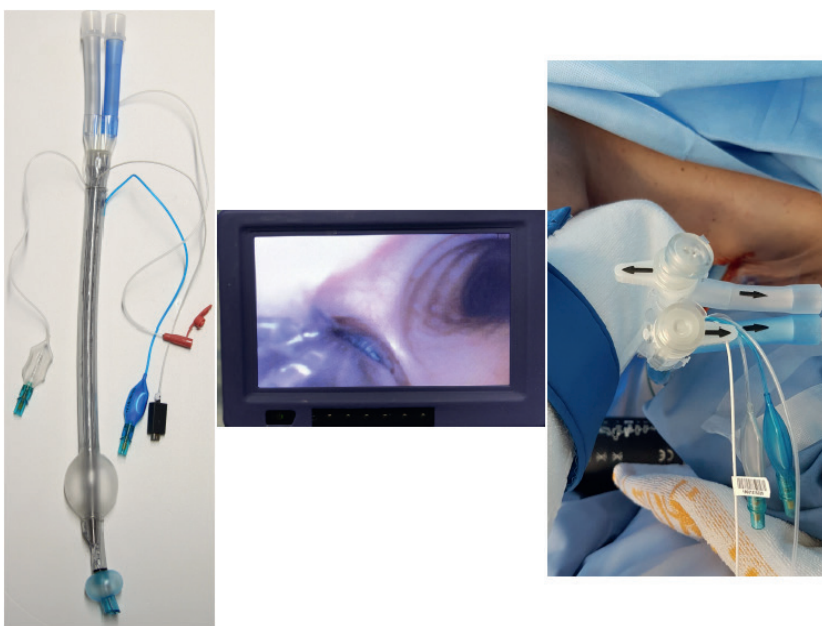
Beachte die farbliche Kennzeichnung des bronchialen Lumens. Im Allgemeinen sind die DLT mit einem biegbaren Mandrin versehen, der nach erfolgreicher Laryngoskopie unmittelbar nach Passage der Stimmbandenebene zurückgezogen wird.

Tabelle 2

Größenempfehlung für Doppellumentuben [2].

Frauen		Männer	
Körpergröße in cm	DLT in Fr	Körpergröße in cm	DLT in Fr
<150	32	<160	35–37
150–160	35	160–170	37
>160	35–37	>170	37–39
>180	39	>180	41
gemessener trachealer Durchmesser in mm		DLT in Fr	
=12,5		32	
=14		35	
=15		35	
=16		37–39	
=18		39–41	

DLT: Doppellumentubus; Fr: French.

Abbildung 2

Design eines Doppellumentubus mit optischem Sensor zur Lagekontrolle.

es empfehlenswert, den DLT nicht zu belassen und auf einen herkömmlichen einlumigen Tubus zu wechseln.

Mit einem **Bronchusblocker** ist der gezielte Verschluss eines Haupt- oder Lappenbronchus sowohl durch als auch neben dem Tubus möglich. Es stehen 4 Modelle zur Verfügung (Abb. 4 und

Tab. 3): der **Arndt**-, der **Cohen**-, der **Uni**- und der **EZ-Blocker**. Sie unterscheiden sich im Material, Platzierungsmuster und Lumen.

Die **Indikationen für eine Seitentrennung der Lunge** mit einem DLT oder einem Bronchusblocker sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Bei der Aus-

wahl der einzelnen Atemweghilfe im Speziellen sind folgende grundsätzliche Überlegungen zu berücksichtigen:

- Ist der Eingriff extra- oder intra-thorakal?
- Welche Anteile insbesondere der proximalen Atemwege (tracheal bzw. bronchial) werden möglicherweise bei dem Eingriff einbezogen?
- Ist der lungenchirurgische Eingriff peripher oder zentral?
- Ist die Operation auf der linken oder rechten Thoraxseite?
- Wie groß ist der Patient?
- Welche relevanten Komorbiditäten bringt der Patient mit?
- Ist die damit verbundene präoperative (pulmonal-funktionelle) Evaluation und Diagnostik (z.B. Spirometrie, Treppentest, Spiroergometrie, Perfusionsszintigraphie) erfolgt und vollständig?
- Handelt es sich um einen schwierigen Atemweg?
- Soll ein linker oder rechter Tubus zum Einsatz kommen?
- Welche Tubus- oder Bronchusblockergröße ist die richtige?

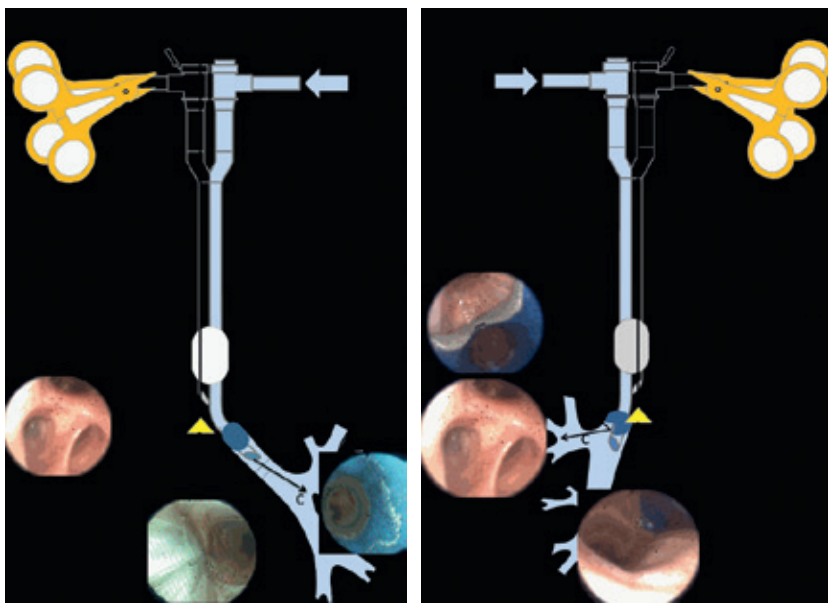
Im Vergleich zwischen DLT und Bronchusblocker zur Seitentrennung bei thoraxchirurgischen Eingriffen gibt es keine Daten für die Überlegenheit der einen oder anderen Atemweghilfe.

Die Kriterien, die für die Vergleiche untersucht wurden, sind

- Dauer und Leichtigkeit der Platzierung,
- Dislokationsrate,
- Qualität der Atektase,
- Ausmaß des Atemwegstraumas und
- Kosten.

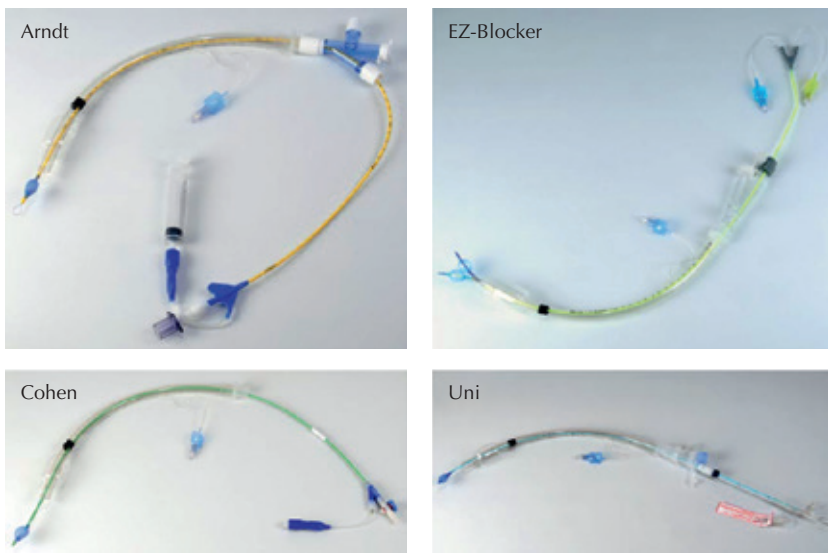
Der DLT wird derzeit vielerorts als Goldstandard betrachtet. Insbesondere Dislokationen bei bronchusnahen Resektionen, häufigen Wechseln von Lungenkollaps und -belüftung zur Identifikation von Parenchymfisteln sowie Sekretretention bei lungenkranken Patienten sind mit dem DLT einfacher und schneller zu beherrschen. Der Nutzen

Abbildung 3



Fiberoptische Lagekontrolle eines linken (linkes Bild) bzw. rechten (rechtes Bild) Doppellumentubus.

Abbildung 4



Typen von Bronchusblockern (modifiziert nach [3]).

von Bronchusblockern als Alternative ist allerdings erwiesen, auch wenn diese aufgrund der hohen Kosten in der Routine nicht häufig eingesetzt werden.

Indikationen für den Einsatz von Bronchusblockern zur Seitentrennung sind

Faktoren, die überwiegend patientenbezogen sind:

- Kinder < 8 Jahre [1]
- intubierte, tracheotomierte, aspirationsgefährdete oder Notfallpatienten
- Patienten mit schwierigem Atemweg.

Absolute und relative Indikationen für die Anwendung eines rechtsläufigen DLT sind:

- linksseitige Pneumonektomie
- „single-lung“ Transplantation links
- endobronchiale Pathologie links (z.B. Tumorbefall, Kompression, Ruptur)
- Oberlappenmanschettenresektion links.

Für den Fall, dass die Lunge nicht kollabiert und die ELV nicht etabliert werden kann, sind folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- fiberoptische Lagekontrolle und ggf. Repositionierung des DLT oder Bronchusblockers
- endobronchiales Absaugen von Luft und Sekret der nicht-ventilierten Lunge
- Sauger u. U. belassen, bis Pneumothorax etabliert, um passives Ansaugen von Stickstoff-haltiger Umgebungsluft und persistierender Lungenblähung zu verhindern.

Was passiert pathophysiologisch während der ELV?

Übersicht

Das Risiko eines eingeschränkten Gasaustausches mit einer erhöhten Inzidenz einer Hypoxämie während der ELV liegt mittlerweile bei unter 5% [4]. Die Optimierungen in den Techniken der Seitentrennung (z.B. fiberoptische Lagekontrolle und Design von DLT, differenzierte Ventilationseinstellungen etc.) und das bessere Verständnis der Pathophysiologie der ELV haben den entsprechenden Beitrag geleistet, dass die Inzidenz deutlich abgenommen hat.

Die Bedingungen und Faktoren, die während thoraxchirurgischer Eingriffe und ELV den Gasaustausch beeinflussen, sind:

- die intraoperative Seitenlage des Patienten und die Schwerkraft [5,6]
- der (partiell) offene Thorax
- die Seite des chirurgischen Zugangs (rechtsseitige Chirurgie) [7,8]
- die Ventilation der abhängigen Lunge

Tabelle 3

Charakteristika von Bronchusblockern.

Charakteristikum	Arndt	Cohen	Uni	EZ
Größe in French (Fr)	5; 7; 9	9	5; 9	7
Ballon	sphärisch	birnenförmig	sphärisch	kugelig
Cuffvolumen in ml	5 Fr: 0,5–2 7 Fr: 2–6 9 Fr: 4–8	5–8	5 Fr: 0,5–2 9 Fr: 5–8	<10
Cufftyp	high volume low pressure	high volume low pressure	high volume low pressure	high volume low pressure
Platzierungsmechanismus	Nylonschleife	Drehradführung	geformte Spitze	distales Y-Stück
minimaler Tubusdurchmesser in mm	5 Fr: 4,7 7 Fr: 7 9 Fr: 8	8	8	7,5
Lumen in mm	5 Fr: 0,7 7 Fr, 9 Fr: 1,4	1,6	5 Fr: kein Lumen 9 Fr: 2,0	0,7

- die Allgemeinanästhesie mit mechanischer Beatmung und ggf. Muskelrelaxation [9]
- die hypoxisch pulmonale Vasokonstriktion [10]

Die Effektivität des normalen Gasaustausches wird durch die ELV substantiell beeinträchtigt. Der arterielle Sauerstoffpartialdruck paO_2 unter einer FiO_2 von 1,0 sinkt nach Etablierung der ELV von über 400 mmHg auf etwa 100–150 mmHg. Die Ursachen für den Abfall der Oxygenierung sind der **intrapulmonale Shunt** in der nicht-ventilieren (überwiegend) und das V/P-Missverhältnis mit Shunt in der ventilieren Lunge. Aufgrund der **Totalatelektase** (Ventilation = 0) ist der gesamte Blutfluss in der nicht-ventilieren Lunge als Shunt zu werten, wobei der ursprünglich 50%ige Anteil des Herzzeitvolumens auf etwa 25% mit individueller Variabilität reduziert wird. Die **hypoxisch pulmonale Vasokonstriktion** und die Schwerkraft sind neben pathologisch bedingten Perfusionseinschränkungen (z.B. durch Tumoren) überwiegend für die Reduktion verantwortlich [10]. Weitere Faktoren, die den Blutfluss und damit den Shunt beeinflussen können, sind chirurgische Manipulationen oder pharmakologische Substanzen. Im Gegensatz dazu kommt es in der ventilieren Lunge aufgrund der oben aufgeführten physiologischen

Veränderungen zu einer **Zunahme der Perfusion** (etwa 75% der Herzzeitvolumens), ohne dass der pulmonalarterielle Druck ansteigt. Allerdings ist das V/P-Verhältnis der ventilieren Lunge dabei sehr heterogen, mit Anteilen einer niedrigen V/P-ratio sowie Shuntanteilen. Da sich aufgrund der Seitenlage, der Anästhesie, des Zwerchfellhochstands und des Gewichts mediastinaler Organe die **funktionelle Residualkapazität (FRC)** der Lunge vermindert, besteht die Neigung sowohl zu **Dys- und Atelektasen** als auch zur **Überblähung** von Lungenarealen. Eine hohe FiO_2 unterstützt das Risiko von Atelektasen. Darüber hinaus beeinflussen Faktoren wie die Anwendung von PEEP, Rekrutierungsmanöver, vorbestehende Lungenerkrankungen und Beatmungseinstellungen das V/P-Verhältnis [11].

Was ist der physiologische Mechanismus der hypoxisch pulmonalen Vasokonstriktion?

Die hypoxisch pulmonale Vasokonstriktion ist eine regionale (pulmonale) Veränderung des Blutflusses in kleineren Anteilen der pulmonalarteriellen Strombahn, um das V/P-Verhältnis zu optimieren und den Shunt um bis zu 40% zu vermindern [10,12,13]. Der primäre Trigger ist ein niedriger alveolärer pO_2 oder sekundär ein niedriger gemischtvenöser pO_2 [10]. Systemische Vasodi-

latoren (z.B. volatile Anästhetika) beeinflussen die hypoxisch pulmonale Vasokonstriktion ungünstig, Vasokonstriktoren unterstützen sie.

Wie wird der respiratorische Gasaustausch während der ELV beeinflusst? [13]

Eine Vielzahl von Faktoren und Einflussgrößen begünstigen eine Hypoxämie während ELV. Bringt ein Patient funktionell relevante pathologische Einschränkungen der zu ventilieren Lunge mit, wie z.B.

- einen Pleuraerguss,
- eine Pneumonie,
- eine interstitielle Lungenfibrose,
- ein Ödem,
- einen Bronchospasmus oder
- anderweitige restriktive Veränderungen,

so erhöht sich das Risiko einer Hypoxämie während ELV. Weitere Prädiktoren sind rechtsseitige Lungeneingriffe, ein hohes Herzzeitvolumen und eine respiratorische Partialinsuffizienz. Dagegen sind Patienten mit chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen aufgrund ihrer Überblähung mit intrinsischem PEEP während ELV weniger hypoxämiegefährdet.

Welche anästhesiologischen Maßnahmen sind sinnvoll während ELV?

Allgemeine Überlegungen

Das Auftreten eines postoperativen akuten Lungenversagens (ALI) im Rahmen lungenchirurgischer Operationen ist mit einer Häufigkeit von 4,3% beschrieben und mit einer deutlich höheren Sterblichkeit assoziiert als ein ALI nach abdominalchirurgischen Eingriffen [14].

Die Strategien, die dem anästhesiologischen Management während der ELV zugrunde liegen, sollen sowohl **lungenprotektive Maßnahmen** beinhalten (z.B. Vermeidung von Volu- oder Barotrauma) als auch eine **Optimierung der Oxy-**

genierung verfolgen. Im folgenden Text sowie in Abbildung 5 und in Tabelle 4 werden die einzelnen Aspekte detailliert dargestellt und zusammengefasst.

Kommt es während der ELV zu einer Hypoxämie, so gilt es, einen strukturierten Algorithmus abzuarbeiten, der zu Beginn die häufigsten Ursachen berücksichtigt und ausschließen soll:

Stufe 1:

- fiberoptische Lagekontrolle des Doppellumentubus oder des Bronchusblockers und ggf. Korrektur
- Bronchialtoilette
- FiO₂ von 1,0
- Rekrutierungsmanöver der ventilierten Lunge
- PEEP-Erhöhung der ventilierten Lunge.

Stufe 2:

- CPAP (continuous positive airway pressure) auf die nicht-ventilierte Lunge

- Zweilungenventilation
- chirurgische Drosselung des Blutflusses in der Pulmonalarterie
- Jetventilation der nicht-ventilierten Lunge.

Das Abarbeiten der einzelnen Maßnahmen hängt in erster Linie vom Schweregrad der Hypoxämie, der Dynamik und der individuellen, patientenbezogenen Situation ab. Die Etablierung einer **Zweilungenventilation** (nach Kommunikation mit den chirurgischen Kollegen) stellt das einfachste und schnellste Konzept zur Herstellung normoxischer Bedingungen dar, führt aber zu einer Unterbrechung der Operation. Eine **fiberoptische Lagekontrolle des DLT** ist ebenso obligat wie eine **Bronchialtoilette** der ventilierten Lunge. **Rekrutierungsmanöver** sind – wenn korrekt durchgeführt (z.B. 3–5 sec dauerndes inspiratorische Druckniveau von 25–35 cmH₂O) – unter Therapie der möglichen hämodynamischen Beeinträchtigungen hilfreich [15].

Die FiO₂ von 0,8–1,0 bietet trotz des Risikos von **Resorptionsatelektasen** durch den Auswascheffekt von Stickstoff für den Patienten eine große Sicherheit, kann aber nach Implementierung der ELV und stabiler Situation in der Regel deutlich auf eine FiO₂ von 0,5 reduziert werden. Hyperoxämische Bedingungen sind durch Sauerstoffradikalbildung nachteilig.

Die Bedeutung der **Anwendung eines CPAP** auf die nicht-ventilierte Lunge ist klinisch in den Hintergrund gerückt, da die damit verbundene Blähung der Lunge die chirurgischen Maßnahmen insbesondere bei video-assistierten thorakoskopischen Eingriffen (VATS) erheblich behindert und damit möglicherweise das operative Ergebnis gefährdet. Die Applikation von reinem Sauerstoff ist nach diskreter Rekrutierung über ein CPAP-System in einem niedrigen Druckbereich (3–8 cmH₂O) für die Oxygenierung sehr effektiv. Im Rahmen von **offenen, chirurgischen Dekortikationen der Lunge** bei Pleuraempyem oder bei Pleurektomien ist der Stellenwert eines CPAP auf die nicht-beatmete Lunge allerdings nach wie vor hoch, da es, neben der verbesserten Oxygenierung bei den häufig vom Gasaustausch eingeschränkten Patienten, dem Chirurgen meist die anatomische Zuordnung und Unterscheidung von Lungengewebe bzw. Pleura bzw. Pleuraschwarte erleichtert.

Abbildung 5

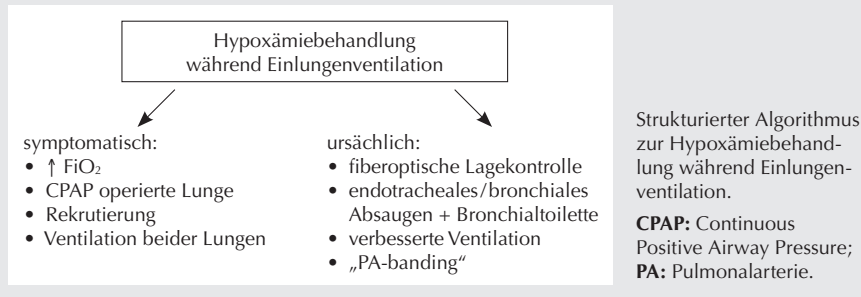


Tabelle 4

Anästhesiologische Maßnahmen der Lungenprotektion während ELV.

Setting	Rationale	offene Fragen/ Probleme
FiO ₂ < 1,0	Atelektrauma ↓	Grenzwert FiO ₂ < 0,8?
Tidalvolumen < 6 ml/kg PBW bzw. P _{peak/plateau/driving} ↓	Volu-/Barotrauma ↓	ideales Tidalvolumen?
PEEP ≥ 5 cm H ₂ O	Oxygenierung ↑	best-PEEP?
Rekrutierungsmanöver	Oxygenierung ↑	Routine? Wie?
CPAP nicht-ventilierte Lunge	Oxygenierung ↑	bei VATS schwierig
permissive Hyperkapnie	ALI ↓	Grenzwert?
volatile Anästhetika	Inflammation/ALI ↓	Arbeitsplatzbelastung?

FiO₂: Inspiratorische Sauerstofffraktion; **PBW:** Predicted Body Weight; **PEEP:** Positive Endexpiratory Pressure; **VATS:** video-assistierte Thoraskopie; **CPAP:** Continuous Positive Airway Pressure; **ALI:** Acute Lung Injury.

Weitere Komponenten einer lungenprotektiven Beatmungsstrategie

PEEP

Die Applikation eines PEEP (Positive Endexpiratory Pressure) auf die ventilerte Lunge kann das V/P-Verhältnis und die Oxygenierung durch die Vermeidung des alveolären Kollapses und damit das Auftreten von Atelektasen verbessern. Ein zu hohes PEEP-Niveau wiederum lenkt die Perfusion der ventilerten Lunge hin zu der nicht-ventilierten Lunge, vergrößert damit den Shunt und verschlechtert die Oxygenierung. Die Höhe des optimalen PEEP muss anhand der individuellen Compliance des respiratorischen Sys-

tems des einzelnen Patienten titriert werden. Im Allgemeinen profitieren die Patienten während ELV von einem PEEP >5 cmH₂O bis etwa 12 cmH₂O, insbesondere bei vorbestehender Adipositas oder restriktiven Lungenerkrankungen. Bei den Patienten mit einer ausgeprägten Obstruktion dagegen sollten die PEEP-Werte deutlich niedriger eingestellt werden und das Auto-PEEP-Niveau detektiert werden, um eine vollständige Expiration zu gewährleisten.

Die Kombination eines niedrigen PEEP-Niveaus (<5 cmH₂O) mit einem niedrigen Tidalvolumen (<5 ml/kg) prädisponiert das Auftreten von Minderbelüftungen und Atelektasen.

Tidalvolumen

Das Tidalvolumen in einer Höhe von 5–6 ml/kg Körpergewicht während ELV entspricht den Empfehlungen einer lungenprotektiven Beatmung und resultiert in der Regel in einer ausreichenden Ventilation und Oxygenierung [16]. Während der ELV ist es durchaus praktikabel, eine **permissive Hyperkapnie** für einen gewissen Zeitraum zu tolerieren. Es existieren keine klaren Empfehlungen zu den Grenzwerten von pH oder paCO₂ bei einer permissiven Hyperkapnie. Bei katecholaminpflichtigen Patienten oder bei pulmonaler Hypertonie ist dies allerdings zu vermeiden.

Atemfrequenz

Die Atemfrequenz und das Verhältnis von Inspirations- zu Expirationsdauer (I:E-Verhältnis) beeinflussen ebenfalls die Ventilation. Hohe Atemfrequenzen und eine kurze Expiration bergen die Gefahr einer **dynamischen Hyperinflation**, d. h. einer unvollständigen Expiration über ein Lumen des DLT. Patienten mit obstruktiver Pathologie, linksseitiger Ventilation über einen linksläufigen DLT besitzen dabei ein höheres Risiko.

Beatmungsmodus

Bei der Wahl des Beatmungsmodus für die ELV ist zu beachten, dass bei einer **volumenkontrollierten Einstellung** (Vo-

lume Controlled Ventilation – VCV) das eingestellte Volumen bei einem konstanten Flow appliziert wird. In einem **druckkontrollierten Modus** wird das eingestellte Druckniveau bei einem dezentrierenden Flow (Pressure Controlled Ventilation – PCV) und einem wechselnden Tidalvolumen bereitgestellt.

Es existiert keine Evidenz, ob eine VCV einer PCV überlegen ist. Allerdings konnte für eine PCV während ELV eine bessere Oxygenierung gezeigt werden [17].

Erweiterte Maßnahmen

Mit dem einfachen, durch den Thoraxchirurgen durchgeführten **Abklemmen der Pulmonalarterie** (oder Anteilen davon) gelingt durch die Blutflussreduktion eine suffiziente Abnahme des Shunts. Alternative Methoden wie eine **hochfrequente Jetventilation** oder die **Insufflation von reinem Sauerstoff** über einen Katheter durch das Lumen des DLT haben vergleichbare Effekte und Nachteile wie die Anwendung mit dem CPAP-System.

Fazit

Ziel der für thoraxchirurgische Eingriffe notwendigen ELV ist, neben dem erweiterten Atemwegsmanagement durch die Seitentrennung der Lunge, die Prävention hypoxämischer Ereignisse und die Vermeidung eines Lungenschadens durch die mechanische Beatmung. Die Erkenntnisse der lungenprotektiven Beatmung mit den Surrogatparametern Tidalvolumen, FiO₂, PEEP und Atemfrequenz helfen das Verständnis der Pathophysiologie der ELV zu erweitern. Routinealgorithmen in der Behandlung hypoxämischer Situationen müssen beherrscht werden.

Literatur

1. Semmelmann A, Kaltfofen H, Loop T: Anesthesia of thoracic surgery in children. *Paediatr Anaesth* 2018;28:326–331
2. Loop T, Spaeth J: Airway Management in

Thoracic Anesthesia with Double-Lumen Tube. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2018;53:174–185

3. Kreft T, Hachenberg T: Use of Bronchial Blockers for Lung Isolation. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2018;53:198–210
4. Campos JH, Feider A: Hypoxia During One-Lung Ventilation—A Review and Update. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018;32:2330–2338
5. Brodsky JB: Approaches to hypoxemia during single-lung ventilation. *Curr Opin Anaesthesiol* 2001;14:71–76
6. Bardoczky GI, Szegedi LL, d'Hollander AA, Moures JM, de Francquen P, Yernault JC: Two-lung and one-lung ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: the effects of position and FiO₂. *Anesth Analg* 2000;90:35–41
7. Slinger P, Suissa S, Triolet W: Predicting arterial oxygenation during one-lung anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992;39:1030–1035
8. Schwarzkopf K, Klein U, Schreiber T, Preussetaler NP, Bloos F, Helfritsch H, et al: Oxygenation during one-lung ventilation: the effects of inhaled nitric oxide and increasing levels of inspired fraction of oxygen. *Anesth Analg* 2001;92:842–847
9. Schilling T, Kozian A, Senturk M, Huth C, Reinhold A, Hedenstierna G, et al: Effects of volatile and intravenous anesthesia on the alveolar and systemic inflammatory response in thoracic surgical patients. *Anesthesiology* 2011;115:65–74
10. Lumb AB, Slinger P: Hypoxic pulmonary vasoconstriction: physiology and anesthetic implications. *Anesthesiology* 2015;122:932–946
11. Unzueta C, Tusman G, Suarez-Sipmann F, Bohm S, Moral V: Alveolar recruitment improves ventilation during thoracic surgery: a randomized controlled trial. *Br J Anaesth* 2012;108:517–524
12. Lohser J: Evidence-based management of one-lung ventilation. *Anesthesiol Clin* 2008;26:241–272
13. Lohser J, Slinger P: Lung Injury After One-Lung Ventilation: A Review of the Pathophysiologic Mechanisms Affecting the Ventilated and the Collapsed Lung. *Anesth Analg* 2015;121:302–318
14. Serpa Neto A, Hemmes SN, Barbas CS, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, et al: Incidence of mortality and morbidity related to postoperative

lung injury in patients who have undergone abdominal or thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med* 2014;2:1007–1015

15. Tusman G, Bohm SH, Sipmann FS, Maisch S: Lung recruitment improves the efficiency of ventilation and gas exchange during one-lung ventilation anesthesia. *Anesth Analg* 2004;98:1604–1609
16. El Tahan MR, Pasin L, Marczin N, Landoni G: Impact of Low Tidal Volumes During One-Lung Ventilation. A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2017;31:1767–1773
17. Kim KN, Kim DW, Jeong MA, Sin YH, Lee SK. Comparison of pressure-controlled ventilation with volume-controlled ventilation during one-lung ventilation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiol* 2016;16:72.

Korrespondenz- adresse



**Prof. Dr. med.
Torsten Loop**

Klinik für Anästhesiologie und
Intensivmedizin
Universitätsklinikum Freiburg
Medizinische Fakultät, Albert-
Ludwigs-Universität Freiburg
Hugstetter Straße 55
79106 Freiburg, Deutschland
Tel.: 0761 270 23710/24010 (Info)
Fax: 0761 270 23960

E-Mail:
torsten.loop@uniklinik-freiburg.de
ORCID-ID: 0000-0002-6147-8281