

# Recrutement oder das Wiedereröffnen von Atelektasen in der Anästhesie

Karine Lecomte, Jean-Baptiste Corpataux

Postoperativ sind pulmonale Komplikationen häufiger als kardiale Komplikationen. Sie sind verantwortlich für eine hohe Morbilität und Mortalität.

Die häufigsten pulmonalen Komplikationen sind Hypoxie, Atelektasen, Infekte, respiratorische Insuffizienz, der Pleurerguss, der Bronchospasmus und die künstliche Beatmung postoperativ.

Die intraoperative künstliche Beatmung ist die am häufigsten verwendete Organunterstützung im Operationssaal. Ihre Komplikationen treten auch bei lungengesunden Menschen auf. Strategien lungenprotektiver Beatmungsformen in der Anästhesie werden erforscht und sind in Entwicklung. Im letzten Jahrzehnt hat sich die Anästhesie vom Wissen, von der Erfahrung und von angewendeten Beatmungstechniken in der Intensivmedizin inspirieren lassen. Seit Kurzem findet das Konzept der lungenprotektiven Beatmung Eingang im Operationssaal. Zwar hat die lungenprotektive Beatmung ihre Wirkung für die Beatmung des Patienten mit ARDS bewiesen, doch welchen Einfluss hat sie beim lungengesunden Patienten, der während einer Operation einige Stunden beatmet wird.

## Zur Erinnerung

Die Allgemeinanästhesie und die künstliche Beatmung sind verantwortlich für die Verkleinerung des Lungenvolumens, welche sich in der Verringerung des funktionellen Residualvolumens zeigt. Das Residualvolumen entspricht dem Lungenvolumen am Ende einer normalen Expiration und entspricht beim Erwachsenen ungefähr 2,5l (30ml/kgKG). Das funktionelle Residualvolumen nimmt zu (Hyperventilation bei Patienten mit Emphysemen) oder es nimmt ab durch Druck auf das Zwerchfell (Positionswechsel, Adipositas, Schwangeschaft, Allgemeinanäs-

thesei, Tendelenburglagerung). Gegenüber der stehenden Position nimmt das funktionelle Residualvolumen in der Liegeposition um 0,8l und durch die Einleitung einer Allgemeinanästhesie nochmals um 0,5l ab.

Die Allgemeinanästhesie ist in 90 – 100 % der Fälle verantwortlich für Atelektasen, welche in der postoperativen Phase auch bestehen bleiben (1).

## Zwei verantwortliche Mechanismen

- Druck (Liegeposition, Relaxation, Erhöhung des intraabdominellen Druckes für laparoskopische Eingriffe, Trendelenburglagerung)
- Reabsorption (durch Verwendung eines hohen  $\text{FiO}_2$ )

**Atelektasen als Folge von Druck** sind ein rein mechanisches Phänomen. Nach der Anästhesieeinleitung entspannt sich das Diaphragma und bewegt sich nach oben. Damit wird das Lungenvolumen verringert. Die Abnahme des venösen Rückflusses thorakal und der damit einhergehenden Umverteilung des Blutes ins Abdomen, zieht eine zusätzliche Abnahme des Lungenvolumens durch Duckerhöhung des Zwerchfells auf die Lungen nach sich (2).

**Reabsorptionsatelektasen** entstehen durch die Okklusion von einzelnen Lungenbereichen. Der Verbrauch von Alveolarluft findet weiter statt, während dem die Frischgaszufuhr in die Alveolen unterbrochen ist. Ein weiterer Mechanismus kann in Lungenabschnitten mit erniedrigtem Ventilations-Perfusions-Verhältnis ebenfalls zu einer Verringerung des Pulmonalvolumens führen. Solche Lungenabschnitte neigen bei Zufuhr von

einem hohen  $\text{FiO}_2$  zu einer schnellen  $\text{O}_2$ -Aufnahme ins Blut, wo hingegen das Gas langsamer aus dem Blut in die Alveolen zurück diffundiert, was zu einem Kollaps der Alveolen, den sogenannten Resorptionsatelektasen führt.

Die Bildung von Atelektasen erhöht die alveolär-arterielle Differenz des Sauerstoffs, was zu einem Shunt und schliesslich zur Entsättigung führt. Atelektasen tragen zu pulmonalen Komplikationen postoperativ bei (Respiratorische Insuffizienz, Pneumonie).

Um diesen anästhesiebedingten Atelektasenbildungen und damit der Verkleinerung des Lungenvolumens, der Anzahl Sättigungsabfälle, der Beatmung mit hohem Tidalvolumen (TV) (12-15 ml/kg IBW) und hohem PEEP (3) entgegen zu halten, wurden neue Ventilationsstrategien entwickelt. Mehrere klinische Studien aus der Tiermedizin haben einen schädlichen Effekt durch die alveoläre Überdehnung (**Volotrauma**) aufzeigen können. Dasselbe Bild zeigt sich bei beatmeten Patienten mit **ARDS** auf der Intensivpflegestation. Auch dort wirkt sich eine aggressive Beatmung negativ auf die Lunge aus. Das zyklische Aufdehnen in der Inspirationsphase und der darauffolgende Kollaps der Alveole während der Expiration setzten die Alveolen starken Scherkräften aus. Dadurch werden Entzündungen aktiviert und es kommt zu Cytokinbildung (**Biotrauma**). Die hervorgerufenen Läsionen an den Alveolen manifestieren sich in Form von Ödemen, Blutungen, Hyalinmembranen, dem Surfactantverlust und der Bildung von Atelektasen (4). Das Freisetzen von Entzündungssubstanzen in die Zirkulation könnte die Entwicklung eines Multiorganversagens (MOV) begünstigen (5). Die im klassischen Sinn beschriebenen Pulmonalläsionen bei ARDS-Patienten, treten auch bei künstlich beatmeten Patienten ohne ARDS auf. Eine

Studie hat gezeigt, dass die kontinuierliche Verwendung von TV über 700 ml bei Patienten ohne ARDS ein unabhängiger Risikofaktor zur Entwicklung eines sekundären ARDS darstellt (6).

### Konzept der lungenprotektiven Beatmung

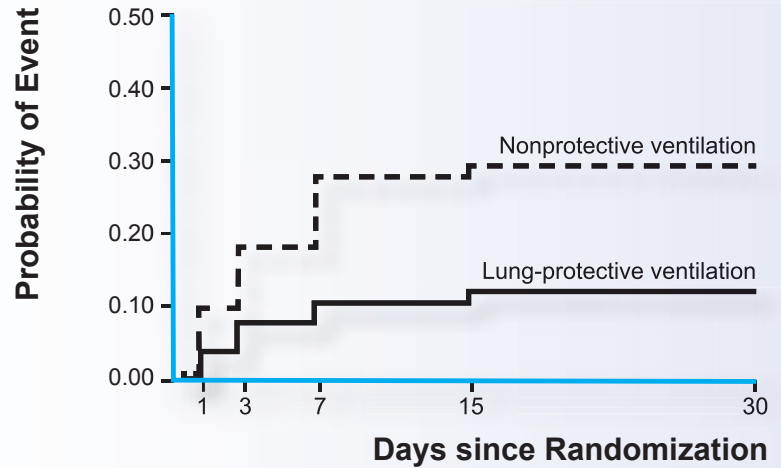
Um die durch künstliche Beatmung hervorgerufenen Lungenläsionen zu minimieren wurde das Konzept der lungenprotektiven Beatmung erarbeitet. Es basiert auf der Verabreichung eines konstant niedrigen TV (6 ml/kgKG), einem Plateaudruck von höchstens 30 cmH<sub>2</sub>O, einer permissiven Hypercapnie (pH 7,3) und einem PEEP, der die Alveolen offen hält (7). Das TV wird vom idealen Körpergewicht (IBW) ausgehend berechnet (Männer: Körpergröße minus 100; Frauen: Körpergröße minus 110). Die Einstellung vom optimalen PEEP ist komplex. Empfohlen wird vom Wert, der dem unteren Wendepunkt der Druck-Volumen-Kurve (SCHEMA 1) entspricht, aus zu gehen. Damit handelt es sich im Wesentlichen um den Gegendruck zu den extrinsischen Druckkräften. Doch dieser Gegendruck ist selten stark genug um durch Druck oder Reabsorption kollabierte Alveolen wieder zu öffnen. Ist der PEEP zu hoch, kann es zu Aufblähungen von normal belüfteten Lungengebieten und zu schädigenden hämodynamischen Auswirkungen kommen. Nach dem Gesetz von Laplace  $p=2\cdot T/r$  (Druck in kPa = 2·Oberflächenspannung in dyn·cm<sup>-1</sup> / Radius in cm) ist der Druck in einer Gasblase direkt proportional zu

seinem Radius. Je stärker die Alveole kollabiert ist, umso kleiner ist ihr Radius, desto höher ist der benötigte Druck um sie wieder zu öffnen. Mit dem Recruitment wird nun versucht die atelektatischen Alveolen wieder zu öffnen. Dieses erlaubt die kurzzeitige Applikation eines hohen Druckes um das Lungenvolumen zu öffnen, gefolgt von einer Beatmung mit PEEP (open lung concept) (8).

In der Intensivbehandlung ist das Konzept der lungenprotektiven Beatmung längst Standard geworden. In der intraoperativen Beatmung hat es ebenfalls Eingang gefunden, obwohl sein Benefit noch nicht nachgewiesen ist. Eine prospektiv beobachtende multizentrische Studie aus dem Jahre 2012 von Jaber et coll. be-

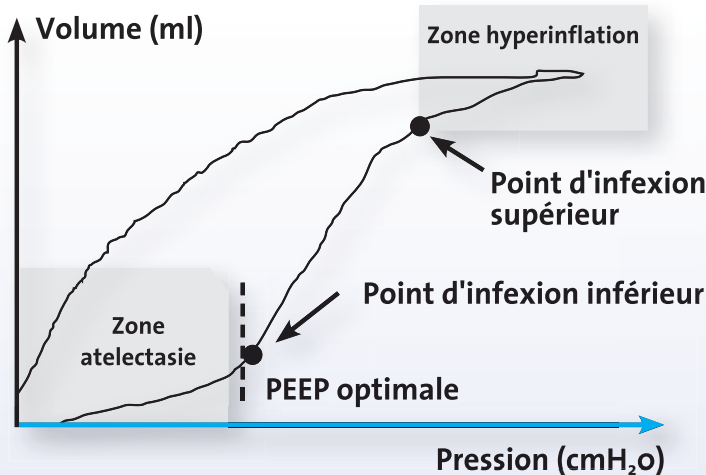
schrrieb die Ventilationspraktiken aufgrund von bestimmten Auswirkungen durch die Verabreichung von hohen TV und hat die am meisten betroffenen Patienten identifiziert. Festgestellt wurde, dass 18 % der Patienten mit TV > 10 ml/kg IBW und 2 % gar mit TV > 12 ml/kg IBW beatmet wurden. Ebenfalls ist festgestellt worden, dass Frauen und adipöse Menschen häufiger das Risiko haben mit hohen TV beatmet zu werden (9).

Die randomisierte, kontrollierte Studie IMPROVE von Futier et coll. (10) aus dem Jahr 2013 hat den Benefit einer lungenprotektiven Beatmung bei Patienten, die einen grossen abdominalen Eingriff hatten, bestätigt. Es wurden zwei Gruppen verglichen. Die Patienten der ersten Gruppe wurden mit der lungenprotektiv (TV 6 ml/kg IBW, PEEP 6 – 8 cm H<sub>2</sub>O und Recruitment) beatmet. Die zweite Gruppe konventionell (TV 10 – 12 ml/kg IBW, ohne PEEP und ohne Recruitment). Bei der lungenprotektiv beatmeten Gruppe kam es zu weniger pulmonalen, aber auch sonstigen Komplikationen innerhalb der ersten sieben Tagen postoperativ (SCHEMA 2). Dazu war die Spitalaufenthaltsdauer etwas kürzer. Severgnini et coll. haben folgende Beatmungen miteinander verglichen. TV von 9 ml/kg IBW ohne PEEP verglichen mit TV von 7 ml/kg IBW mit PEEP von 10 cm H<sub>2</sub>O verbunden mit Recruitment nach der Intubation und bei der Extubation. Diese Studie hat eine Verbesserung

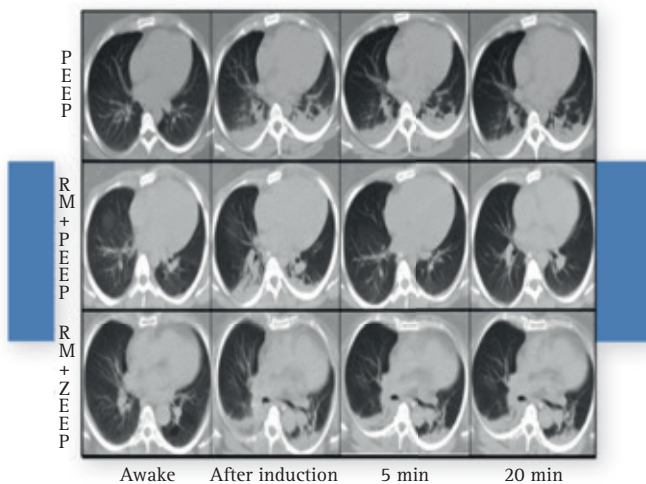


No. at Risk						
Nonprotective ventilation	200	182	163	145	142	142
Lung-protective ventilation	200	192	184	179	176	175

SCHEMA 2



SCHEMA 1



SCHEMA 3

der Sättigung und der Lungenfunktionen und eine Verminderung des Lungeninfektscores aufgezeigt. Vorwurf an die Studie, sie konnte nicht schlüssig aufzeigen ob der Benefit nur auf die lungenprotektive Beatmung mit einem tiefen TV und einem moderaten PEEP beruht und das Recruitment daneben keine Rolle spielt.

Ein Recruitment macht vorübergehend einen Anstieg des pulmonalen Druckes (Differenz zwischen dem alveolären und dem pleuralen Druck) jenseits des Öffnungsdruckes. Eine tomographische Studie konnte bei adipösen Menschen zeigen, dass ein einziges Recruitment mit anschließender PEEP-Gabe eine markante Verringerung von Atelektasen und eine bessere Oxygenation bewirkt hat. Recruitment oder Verabreichung von PEEP allein reicht aber dafür nicht aus (12) (SCHEMA 3). Die Wirkung des Recruitment hängt von der Höhe des Druckes und der Dauer des gehaltenen Druckes ab. 1993 haben Rothen et coll. aufzeigen können, dass ein Druck von 40 cm H<sub>2</sub>O bei einem gesunden, normalgewichtigen Patienten ausreicht eine vollständige Wiederöffnung des pulmonalen Parenchyms zu bewirken (13). Ebenfalls Rothen et coll. konnten einige Jahre später aufzeigen, dass das Halten des Druckes während 7 – 8' ausreicht für eine Öffnung und die Sekundäreffekte vom Recruitment damit limitiert werden können (14).

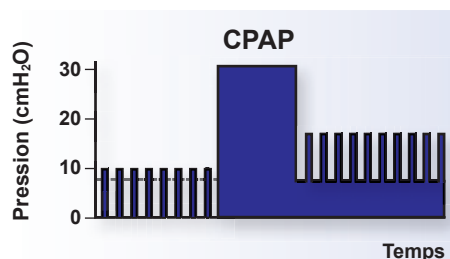
#### Welches Recruitment soll angewandt werden?

Bei beatmeten Patienten im Operationssaal kennen wir drei verschiedene Recrutements. Die Anwendung eines nie-

deren FiO<sub>2</sub> (0,4) wird zur Verhinderung der Reabsorptionatektasen empfohlen.

#### Verwendung von CPAP

Hier handelt es sich um eine manuelle Handlung. Hierzu wird das APL-Ventil auf 30 – 40 cm H<sub>2</sub>O eingestellt und bei einem hohen Frischgasfluss während 15 – 30 Sekunden mit dem Beatmungsbeutel den Druck gehalten (SCHEMA 4). Zwei Schwierigkeiten hierbei: Es ist schwierig einen konstanten Druck zu halten und das erneute Kollabieren der Alveolen bei der die Rückkehr auf die maschinelle Be-



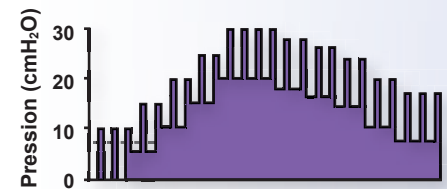
SCHEMA 4

atmung. Denn zu bedenken gilt, dass es bei vielen Beatmungsgeräten einige Beatmungszyklen braucht, bis sich der eingestellte PEEP wieder aufgebaut hat (15). Gänzlich abgeraten wird von diesem Manöver ohne Druckmanometer. Zu schnell wird ein zu hoher Druck erreicht, welcher gut und gerne 80 cm H<sub>2</sub>O überschreiten und zu einem Barotrauma führen kann.

#### Vitalkapazität-Recrutement

Einige Beatmungsgeräte sind mit diesem Modus ausgestattet. Hier reicht es den gewünschten Druck und die Applikati-

onszeit einzugeben. Ein Druck von 30 – 40 cm H<sub>2</sub>O wird während 30 – 40 Sekunden gehalten, anschliessend kehrt das Gerät in die normale Beatmung mit dem eingestellten PEEP zurück.



SCHEMA 5

#### Recrutement mit zunehmendem Beatmungsdruck und PEEP

Einzelne Beatmungsgeräte bieten solche Beatmungsmodi an. hier wird der PEEP jeweils um 5 cm H<sub>2</sub>O bis zu einem PEEP von 15 – 20 cm H<sub>2</sub>O erhöht. Gleichzeitig nimmt der Insufflationsdruck bis maximum 40 cm H<sub>2</sub>O zu. Die hämodynamische Toleranz scheint hier im Vergleich zu anderen Modi besser zu sein (SCHEMA 5).

Obwohl es keine Evidenz zu den drei Recrutements gibt, sollte ein automatisches, vom Beatmungsgerät verabreichtes Recruitment vorgezogen werden (16).

#### Wann soll ein Recruitment durchgeführt werden?

Gleichzeitig mit der Anästhesieeinleitung bilden sich die ersten Atelektasen. Die funktionelle Residualkapazität (FRC) nimmt in liegender Position und während der Präoxygenation mit einem FiO<sub>2</sub> 1 ab. Die Muskelrelaxation verringert den Tonus der für die Inspiration benötigten Muskulatur, das Thoraxvolumen nimmt ab und das Diaphragma schiebt sich nach oben, was sich ebenfalls ungünstig auswirkt (17).

Zusätzliche Atelektasen bilden sich durch erhöhten intraabdominellen Druck bei laparoskopischen Eingriffen.

Am Ende der Anästhesie, während der Extubation bei einem FiO<sub>2</sub> 1, den Dekonnectionen vom Beatmungsgerät, dem intratrachealen Absaugen kommt es zu unbelüfteten Lungenarealen. Maggiore et coll. konnten bei ARDS-Patienten, die

für die intratracheale Absaugung vom Ventilator dekonnektiert wurden, einen grossen Verlust von Lungenvolumen feststellen (18). Ein Recrutement konnte den Verlust korrigieren. Obwohl viele Studien die intraoperative Problematik untersucht haben, weiss man nicht viel darüber, ob der Benefit auch in der postoperativen Phase anhält. Wahrscheinlich geht er durch die Verwendung von einem hohen  $\text{FiO}_2$  und bei Verzicht auf Physiotherapie verloren. Deshalb sind diesbezüglich Studien zur postoperativen Phase unabdingbar.

### Recrutement: Risiken und Gefahren

Es gibt nur wenige Studien, die sich mit den Gefahren und Risiken des Recrutement im perioperativen, aber auch in der Intensivpflegephase befassen. Das Resultat des Recrutement ist nicht berechenbar. Zu den häufigsten Komplikationen zählen die passagere Entsättigung durch Überdruck in den Alveolen, die Verschiebung der Durchblutung in nicht beatmete Lungenbereiche und die Hypotension. Während des Blähens der Lunge wird das Herz zusammen gedrückt. Die linksarteriale und -ventrikuläre Füllung nimmt ab und der venöse Rückfluss verschlechtert sich durch den erhöhten Druck intrathorakal. Dies bewirkt eine Abnahme des Herzzeitvolumens (HZV) und des arteriellen Blutdruckes, was durch Hypovolämie noch verschlimmert wird (19). Das Recrutement sollte bei Patienten mit Lungenemphysemblasen nicht angewendet werden. Wegen der unerwünschten intrakraniellen Druckerhöhung sollte bei neurochirurgischen Patienten darauf verzichtet werden. Vorsicht beim Recrutement ist bei laparoskopischen Eingriffen geboten. Beim Recrutement schiebt sich das Diaphragma nach unten, dadurch ist es möglich, dass sich die Trocare verschieben und dabei Organe verletzen können.

### Was machen in der Praxis?

Recrutements sind nicht harmlos. Sie sollen in einem definierten Rahmen und mit grosser Sorgfalt durchgeführt werden. Was wird von der durchführenden Person erwartet?

- Gute Kenntnisse der sekundären Effekten eines Recrutements. Kenntnis

der angemessenen Reaktion auf diese.

- Expertise beim Ablesen der Druck- / Volumen- / Flusskurven.
- Kenntnisse des jeweiligen Beatmungsgerätes und dessen Möglichkeiten. Jedes Beatmungsgerät hat Eigenheiten, die man kennen muss!

Massnahmen von dem Recrutement

- Strategie mit dem zuständigen Anästhesisten festlegen. Für einen lungen-gesunden Patienten einen Druck von 30 – 40 cm  $\text{H}_2\text{O}$  (bis zu 50 cm  $\text{H}_2\text{O}$  bei adipösen Patienten). Dauer des Druckhaltens 30 – 40'. Pausen dazwischen 30'.
- Rücksicht auf Zeitpunkt intraoperativ; in Absprache mit dem Chirurgen.
- Kenntnis der klinischen Situation bezüglich Recrutement (endotracheale Aspiration, Tubusdekonnektion...)
- Hämodynamik evaluieren
- Bei instabilen Patienten nach Möglichkeit für das Recrutement auf die kontinuierliche Erhöhung von Druck und PEEP zurückgreifen.
- In der Extubationsphase soll das Recrutement sehr vorsichtig und mit einem  $\text{FiO}_2 < 1$  vorgenommen werden. PEEP so lange wie möglich belassen, um erneuten Kollaps der Alveolen zu verhindern.

Behalten wir im Auge, dass das Recrutement im Konzept der lungenprotektiven Beatmung Eingang halten soll, welches im Gesamtkontext eingefügt werden soll. Dazu gehören: keine Restrelaxation, eine optimale Schmerztherapie, Antibiotikaphylaxe, postoperative Physiotherapie und alle Möglichkeiten um die Risiken von respiratorischen Komplikationen zu verringern.

Die pulmonalen postoperativen Komplikationen haben eine grosse Auswirkung auf die Morbidität und Mortalität, besonders nach einem grösseren chirurgischen Eingriff. Das Recrutementmanöver spielt eine wichtige Rolle. Die Hochrisikopatienten sollen von einer lungenprotektiven Beatmung profitieren, wie die Intensivpatienten es tun. Mehrere Studien weisen darauf hin, dass die Verwendung von kleinen TV, von PEEP und die Anwendung von Recrutement in der perioperativen Phase eine wichtige Rolle spielen. Jedoch ist die Rolle eines jeden einzelnen Punktes noch nicht ganz präzisiert.

### Littérature

1. Hedenstierna. Mechanism of Atelectasis in the Perioperative Period. *Best Practice and Research.* 2010, Vol. 24 (2), pp. 157–69.
2. Hedenstierna. Functional Residual Capacity, Thoracoabdominal Dimensions, and Central Blood Volume during General Anesthesia with Muscular Paralysis and Mechanical Ventilation. *Anesthesiology.* 1985, 62, pp. 247–54.
3. Bendixen. Impaired Oxygenation in Surgical Patient during General Anesthesia with Controlled Ventilation. *New Engl J Med.* 1963, Vol. 269 (1), pp. 991–6.
4. Slutsky. Ventilator-Induced Lung Injury. *New Engl J Med.* 2013, Vol. 369, pp. 2116–36.
5. Rothen. Multiple System Organ Failure. Is Mechanical Ventilation a Contributing Factor? *Am J Respir Crit Care Med.* 1998, Vol. 157, pp. 1721–5.
6. Gajic. Ventilator Setting as a Risk Factor for Acute Respiratory Distress Syndrome in Mechanically Ventilated Patients. *Intensive Care Med.* 2005, Vol. 31, pp. 922–6.
7. Amato. Effect of Protective Ventilation Strategy on Mortality in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *New Engl J Med.* 1998, Vol. 338, pp. 347–54.
8. Lachmann. Open up the Lung and Keep the Lung Open. *Intensive Care Med.* 1992, Vol. 18, pp. 319–21.
9. Jaber. A Multicentre Observational Study of Intraoperative Ventilatory Management during General Anesthesia: Tidal Volumes and Relation to Body Weight. *Anesthesia.* 2012, Vol. 67, pp. 999–1008.
10. Futier. Improve Study Group. A Trial of Intraoperative Low-Tidal-Volume Ventilation in Abdominal Surgery. *New Engl J Med.* 2013, Vol. 369, pp. 428–37.
11. Severgnini. Protective Mechanical Ventilation during General Anesthesia for Open Abdominal Surgery. *Anesthesiology.* 2013, Vol. 118, pp. 1307–21.
12. Reinius. Prevention of Atelectasis in Morbidly Obese Patients during General Anesthesia and Paralysis. *Anesthesiology.* 2009, Vol. 111, 5, pp. 979–87.
13. Rothen. Re-Expansion of Atelectasis during General Anesthesia: A Computed Tomography Study. *Br J Anaesth.* 1993, Vol. 71, pp. 788–95.
14. Rothen. Dynamics of Re-Expansion of Atelectasis during General Anesthesia. *Br J Anaesth.* 1999, Vol. 82 (4), pp. 551–6.
15. Lorenzo. Modes of Mechanical Ventilation for the Operating Room. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2015, Vol. 29, pp. 285–99.
16. Güldner. Intraoperative Protective Mechanical Ventilation for Prevention of Postoperative Pulmonary Complications. *Anesthesiology.* 2015, 123 (3), pp. 692–713.
17. Hedenstierna. Functional Residual Capacity, Thoracoabdominal Dimensions and Central Blood Volume during General Anesthesia with Muscle Paralysis and Mechanical Ventilation. *Anesthesiology.* 1985, Vol. 62, pp. 247–54.
18. Maggiore. Prevention of Endotracheal Suctioning-induced Alveolar Derecruitment in Acute Lung Injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003, Vol. 167, pp. 1215–24.
19. Fan. Complications from Recruitment Maneuvers in Patients with Acute Lung Injury: Secondary Analysis from the Lung Open Ventilation Study. *Respir Care.* 2012, Vol. 57, pp. 1842–9.

### Kontakte:

#### Karine Lecomte

Dipl. Expertin Anästhesiepflege NDS HF  
Verantwortliche der praktischen Bildung  
Spital Neuenburg-Portalès  
karine.lecomte@h-ne.ch

#### Dr. Jean-Baptiste Corpataux

Chefarzt Anästhesie  
Spital Neuenburg-Portalès,  
jean-baptiste.corpataux@h-ne.ch