

## Teil V: Medizintechnik

### 32 Maschinelle Beatmung und Narkose: Lösungen

*Ute Morgenstern und Olaf Simanski*

#### Lösung zu 32.1

Alle vier Teilprozesse der menschlichen Atmung lassen sich maschinell ersetzen:

- die Diffusion der Atemgase über die zellulär-kapilläre Membran,
- der konvektive Transport der Gase durch Perfusion des Organismus über den Blutkreislauf,
- die Diffusion der Gasphasen über die alveolo-kapilläre Membran zwischen Blut und Lungenbläschen sowie
- der diffusive wie konvektive Transport von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> zwischen Alveolarbereich und Umgebung, die „äußere Atmung“, die Ventilation der Lunge.

Überdruck- und Kürassbeatmung sowie maschinelle Muskelstimulation ersetzen bzw. ergänzen den Ventilationsprozess. Über extrakorporale Membranoxigenierung und/oder CO<sub>2</sub>-Eliminierung wird der Gasaustausch direkt über das Blut unterstützt.

#### Lösung zu 32.2

Der **Beatmungsmodus** bestimmt, wer welchen Anteil an der zu verrichtenden Atemarbeit erbringt. Die Beatmung startet meist bei einem relaxierten und sedierten Patienten mit einem kontrollierten (geregelten) Modus (CMV: VCV bzw. PCV). Um den Übergang zur Übernahme der Atemaktivität durch den Patienten vorzubringen, wird assistierende Beatmung angewendet, um dem Patienten die Möglichkeit zu geben, seine Eigenatmung langsam zu verstärken und durch Reißen eines Triggers bei Inspiration den Start des maschinellen Atemzugs in Grenzen selbst zu bestimmen. Der Hauptteil der Atemarbeit wird dabei immer noch vom Ventilator übernommen (SIMV). Nach erstarkender Spontanatmung ist der Patient dann selbst in der Lage, einen Großteil des benötigten Atemminutenvolumens zu fördern und auch den Rhythmus zu bestimmen. Die Maschine greift im Folgenden nur noch unterstützend ein (assistierte Spontanatmung ASB), um z. B. ein festgelegtes Minimum an AMV (MMV; ASV) zu gewährleisten oder bei wieder beinahe vollständiger Spontanatmung nur noch inspiratorische Druckunterstützung (IPS) zu geben. Auf diese Weise wird der Patient langsam wieder dem Beatmungsgerät **entwöhnt**. Eine Arbeitspunktanhebung über einen gegenüber



dem Umgebungsdruck erhöhten Druck durch PEEP oder CPAP/BiPAP verhindert Alveolenkollaps.

Die **Ventilationsform** gibt innerhalb eines Beatmungsmodus Auskunft über die zeitliche Abfolge der durch das Beatmungsgerät bzw. den Patienten selbst erzeugten Ventilationsmuster:

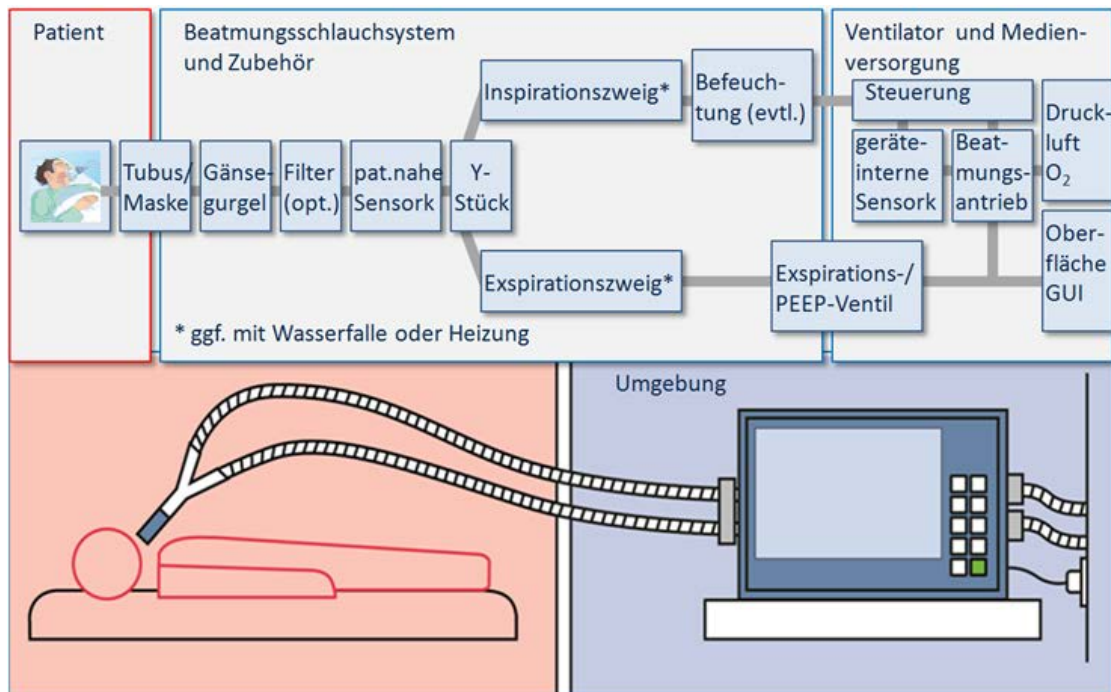
- Wer verrichtet die Atemarbeit?
- Wo liegt der "Arbeitspunkt" des Systems? Wird die Funktionelle Residualkapazität (FRC) und damit der bei Ausatmung wirksame Umgebungsdruck angehoben durch PEEP/CPAP/BiPAP/AutoPEEP?
- Sind die mechanischen Aktionen zur Volumenverschiebung zwischen Patient und Gerät getriggert oder synchronisiert?

Das **Ventilationsmuster** ist definiert als der zeitliche Verlauf der Beatmungsgrößen Druck, Flow und/oder Volumen während eines Beatmungszyklus, bestehend aus den Zeitabschnitten Insufflation, inspiratorischer Pause und Expiration.

Herstellerspezifische Beatmungsmuster und -formen werden über eine Reihe von am Ventilator einstellbaren Beatmungsparametern festgelegt, die sich über Zeitfolge, Dosierung und Form der insufflatorischen Steuergröße definieren.



## Lösung zu 32.3



Das im Ventilator gemischte Atemgas wird zeitvariabel unter dem eingestellten Druck bzw. mit dem geforderten Volumenstrom im entsprechenden Rhythmus dem Patienten zugeführt: über Beatmungsschlauchsystem, Wasserfalle, Anfeuchter oder Filter („Künstliche Nase“) zur Konditionierung, zusätzliche Sensoren, einen Konnektor mit Zugang zum Absaugen von Sekret, das Y-Stück, einen flexiblen Schlauch, den Tubus über Mund oder Nase oder bei Tracheotomie direkt in die Luftröhre bzw. über eine Atemmaske. Der expiratorische Schenkel des Beatmungsschlauchsystems führt die Ausatemluft über ein Bakterienfilter und das Expirationsventil des Beatmungsgerätes ab.

Für den Betrieb des Beatmungsgerätes sind medizinisch reine Druckluft und Sauerstoff aus der Klinikgasversorgung bzw. bei mobilen Geräten aus Druckgasflaschen und die Stromversorgung nötig. Schlauchsysteme und Zubehör sind meist Einmalgebrauchsartikel. Einige Geräte zur Gaskonditionierung müssen sterilisierbar sein und ggf. mit Wasser zur Befeuchtung befüllt werden.

## Lösung zu 32.4

Narkosetechnik sorgt für Narkose- und Schmerzmittelgaben während einer Operation oder auch ggf. bei Intensivbeatmung. Damit wird einerseits Schmerzfreiheit bezweckt, andererseits die Ausschaltung der Spontanatemregelung und der Muskelaktivität bewirkt. Unter Narkose wird durch die Gabe von Hypnotika bewusst eine temporäre Amnesie herbeigeführt.

Im Narkosekreissystem mit Rückatmung kann der CO<sub>2</sub>-Absorber im In- oder Expirationsschenkel implementiert sein. Über ein Überdruckventil wird nicht benötigtes Gas abgegeben. Die Narkosegase werden angefeuchtet und erwärmt. Sauerstoff, Lachgas und Druckluft werden für die Anästhesiebeatmung aus der Klinikgasversorgung gespeist oder ggf. aus Druckluftflaschen mit entsprechend reduziertem Druck gemischt. Die flüssigen Anästhetika werden verdampft und über elektronische Dosierventile geregelt dem Frischgasstrom zugefügt. Fluss, Druck und Temperatur werden in die Regelung einbezogen. Bei einer balancierten Anästhesie werden sowohl Narkosegase als auch intravenöse Medikamente für die Einleitung und Aufrechterhaltung der Narkose verwendet. Die intravenösen Anästhetika können bei Beatmung mittels TIVA oder balanciert mittels Spritzenpumpen appliziert werden (TCI). Dabei gibt der Anästhesist die gewünschte Zielkonzentration der Medikamente im Blut oder im sogenannten „Effektkompartiment“ vor, und anhand eines implementierten Steuerungsalgorithmus applizieren die Pumpen die entsprechenden Medikamente automatisch. Der erreichte Effekt wird durch Monitoring überprüft. Es müssen Muskelrelaxation wie auch Hypnosetiefe kontinuierlich diagnostiziert werden, um ggf. nachregeln zu können. Beispielsweise werden die inspiratorische Sauerstoffkonzentration und die endexpiratorische Narkosegaskonzentration vorgewählt und bei konstantem Gasvolumen patientenadäquat eingestellt. Druck, Temperatur, O<sub>2</sub>-Fraktion, expiratorisches Volumen und Narkosegaskonzentration werden sensorisch erfasst und überflüssiges Narkosegas über Aktivkohlefilter aus dem Kreislauf entfernt. Sauerstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Produktion lassen sich bilanzieren. Neben dem üblichen Patientenmonitoring und der Beobachtung der Narkosetiefe werden ggf. Hirndruck und Nierenfunktion mit überwacht.



## Lösung zu 32.5

Lungenprotektive Beatmung bedeutet, überdruckbeatmungsinduzierte Lungenschäden zu reduzieren.

Ein Beispiel ist die sog. variable Beatmung (engl. *Noisy Pressure Support Ventilation*). Dabei werden die Steuerparameter im Lauf der Zeit in gewissen Bereichen verändert, um durch ein spontanatemähnliches dynamisches Spiel in der mechanischen Dehnung von Lungen und Thorax die Beatmungsschäden bei Langzeitbeatmeten zu minimieren. Oder bei der Beatmungsform *Intelligent Ventilation* führt der geräteinterne Regelalgorithmus bei unkomplizierten Fällen auf der Basis eines spezifischen dynamischen Patientenmodells selbsttätig Beatmungsparameter nach, um die vom Arzt gesetzten Zielgrößen zu erreichen.

Bei diesen Techniken der lungenprotektiven Beatmung werden die Beatmungsgeräte immer kleiner, schneller und komplexer in der Datenverarbeitung. Die Ventilatoren sind mit besserer Sensorik wie auch komplexeren Funktionen ausgestattet. Intelligente Algorithmen erlauben nach dem „Ausmessen“ der Charakteristika des Patienten eine adaptive Beatmungsregelung, die sich besser an die individuellen Eigenschaften und erkrankungsbedingt wechselnden Bedürfnisse des Patienten anpasst und eine optimale Synchronisation zwischen Mensch und Maschine gestattet.

