

Beheizte Atemgasbefeuchtung

Zusammenfassung der klinischen Daten



Inhaltsverzeichnis



Rückblicke. Von den Grundsätzen zur Anwendung

- R1. Physiologie und Abwehr der Atemwege 1
- R2. Grundlegende Prinzipien von Wärme und Luftfeuchtigkeit 4
- R3. Methoden zur Erwärmung und Befeuchtung von Atemgasen 6
- R4. Auswirkungen der Geräteauswahl auf Beatmungsgerät und Lungenmechanik 8
- R5. Beheizte Atemgasbefeuchtung für jedermann 10



Zusammenfassung 12



Glossar 13



Wichtigste Referenzen 15





EINFÜHRUNG

Die drei Hauptfunktionen der oberen Atemwege bestehen darin, die eingeatmeten Gase zu filtern, zu erwärmen und zu befeuchten.¹ Praktisch alle Partikel werden entfernt, während die eingeatmeten Gase auf Körpertemperatur (37 °C) erwärmt und auf 100 % relative Luftfeuchtigkeit (44 mg H₂O/L) gesättigt werden.¹ In diesem Abschnitt werden die Grundsätze der Physiologie und Abwehr der Atemwege erläutert, um ein Verständnis für die Faktoren zu entwickeln, die bei Patienten mit Atmungsunterstützung berücksichtigt werden müssen.

ATEMWEGSABWEHR

Die wichtigsten mechanischen Abwehrmechanismen der oberen Atemwege sind Niesen, Husten, Würgen und Filtration über die Nasenschleimhaut. Eine zweite Verteidigungslinie bildet das mukoziliäre Transportsystem, eine extrazelluläre physische Barriere, die Krankheitserreger und Verunreinigungen abfängt, neutralisiert und aus den Atemwegen transportiert.² Dieses System ist die einzige verbleibende mechanische Verteidigung der Atemwege bei Patienten, deren Atemwege umgangen wurden, und ist für eine optimale Funktion auf die Wärme und Feuchtigkeit des eingeatmeten Gases angewiesen.

Das mukoziliäre Transportsystem setzt sich aus drei Schichten zusammen:²

1. Eine zelluläre Schicht - einschließlich sekretorischer, absorbierender, sensorischer und Zilienzellen.
2. Eine dünnflüssige Schicht (periziliäre Flüssigkeit) – bestehend aus einer dünnen 5–6 µm großen, zusammenhängenden Schicht aus niedrigviskoser Flüssigkeit.
3. Eine viskoelastische Gelschicht (Schleim) – bestehend aus Schleim, der als Reaktion auf Verunreinigungen oder Reizstoffe abgesondert wird. Der Schleim besteht zu 95 % aus Wasser und zu 5 % aus Glykoproteinen, Proteoglykanen und Lipiden in kolloidalem Zustand.

Die Zilien auf der Oberfläche der Zilienzellen schlagen mit derselben Frequenz und in Koordination mit den Zilien der benachbarten Zellen und sind von periziliärer Flüssigkeit umgeben.² Als Reaktion auf eine Stimulation wird Wasser aus der periziliären Flüssigkeit absorbiert, um Schleim zu bilden, der durch das Schlagen der Zilien in Richtung Kehlkopf transportiert wird.² Die Funktion des mukoziliären Transportsystems hängt von der Koordination zwischen den zellulären, dünnflüssigen und viskoelastischen Schichten der Atemwegsschleimhaut ab und wird durch Veränderungen der Zilienschlagfrequenz, der Rheologie und Tiefe der periziliären Flüssigkeit sowie der Schleimrheologie verändert.²

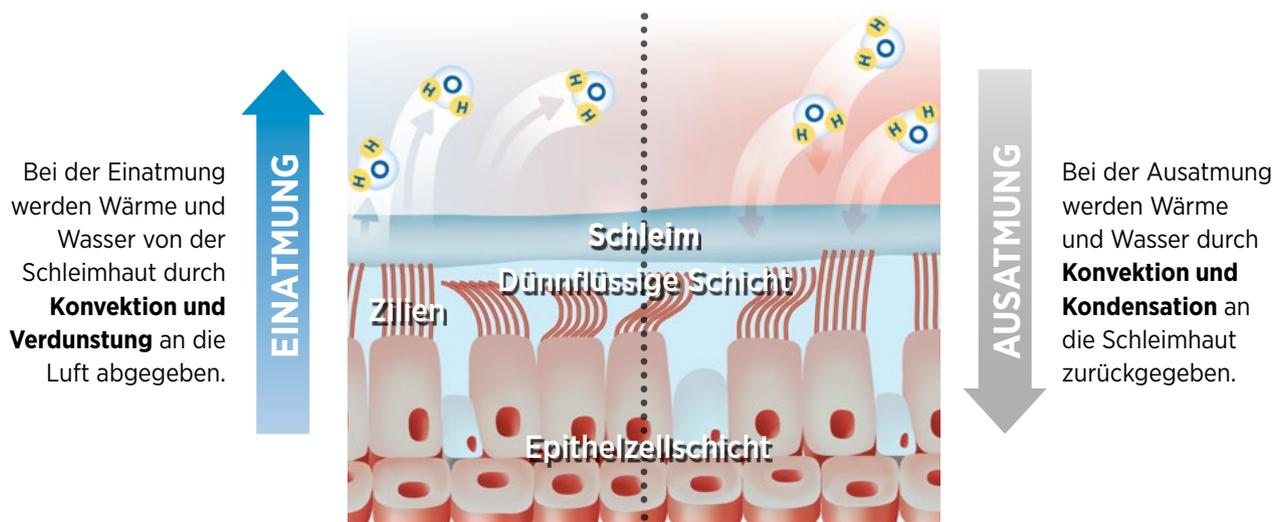


Abbildung 1: Das mukoziliäre Transportsystem schützt die Atemwege vor Verunreinigungen und erleichtert gleichzeitig die Erwärmung und Befeuchtung des eingeatmeten Gases.

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtlichhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



GASKONDITIONIERUNG

Die Temperatur und Feuchtigkeit des eingeatmeten Gases sind entscheidend für das optimale Funktionieren des mukoziliären Transportsystems, da die Zufuhr von suboptimaler Wärme und Feuchtigkeit zu einer fortschreitenden Verlangsamung des Systems und einer ineffizienten Atemwegsabwehr führt.²

Bei jedem Atemzug führen die Atemwege den Gasen während der Einatmung Wärme und Feuchtigkeit zu und gewinnen einen Teil dieser Wärme und Feuchtigkeit bei der Ausatmung zurück. Die Umgebungsluft wird so aufbereitet, dass das Gas die Alveolen bei Kerntemperatur erreicht und vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist (44 mg H₂O/L bei 37 °C bei einem Patienten mit normaler Körpertemperatur). Dieser Zustand wird manchmal als Körpertemperatur und -druck, gesättigt (BTPS) bezeichnet. Der Punkt im Atmungssystem, an dem die eingeatmete Luft dieses Wärme- und Feuchtigkeitsniveau erreicht, wird als isothermische Sättigungsgrenze (ISB) bezeichnet. Er befindet sich bei einem Erwachsenen bei normaler, ruhiger Raumluftatmung etwa auf Höhe der Hauptstammbronchien, seine Position kann jedoch je nach Wärme- und Feuchtigkeitsgehalt der eingeatmeten Luft und dem Atemmuster variieren.³

Folglich besteht entlang der Atemwege ein Temperatur- und Feuchtigkeitsgradient, der von der Umgebungstemperatur und -feuchtigkeit an der Atemwegsöffnung bis zur Kerntemperatur und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit an der ISB reicht. Die Schleimhaut über der ISB, die während der Einatmung Wärme und Feuchtigkeit spendet, wird vor Beginn der Ausatmung unvollständig aus der systemischen Reserve erwärmt und befeuchtet. Ausgeatmetes Alveolengas trifft daher auf eine kühle Schleimhaut, was zur Kondensation führt und Feuchtigkeit und Energie an die Schleimhaut zurückgibt (Abbildung 1). Folglich besteht eine direkte und dynamische Beziehung zwischen der ausgeatmeten und der eingeatmeten Feuchtigkeit.^{2,3}

AUFRECHTERHALTUNG DES GLEICHGEWICHTS WÄHREND DER ATMUNGSUNTERSTÜTZUNG

Viele Aspekte der Atemwegsphysiologie werden bei der invasiven Beatmung umgangen oder ausgeschaltet oder sind bei nichtinvasiven Beatmungsstrategien beeinträchtigt. Insbesondere wenn ein Patient durch einen Endotracheal- oder Tracheostomietubus atmet, werden die oberen Atemwege umgangen und das Gas direkt in die unteren Atemwege geleitet, ohne dass die Möglichkeit einer normalen Konditionierung besteht.

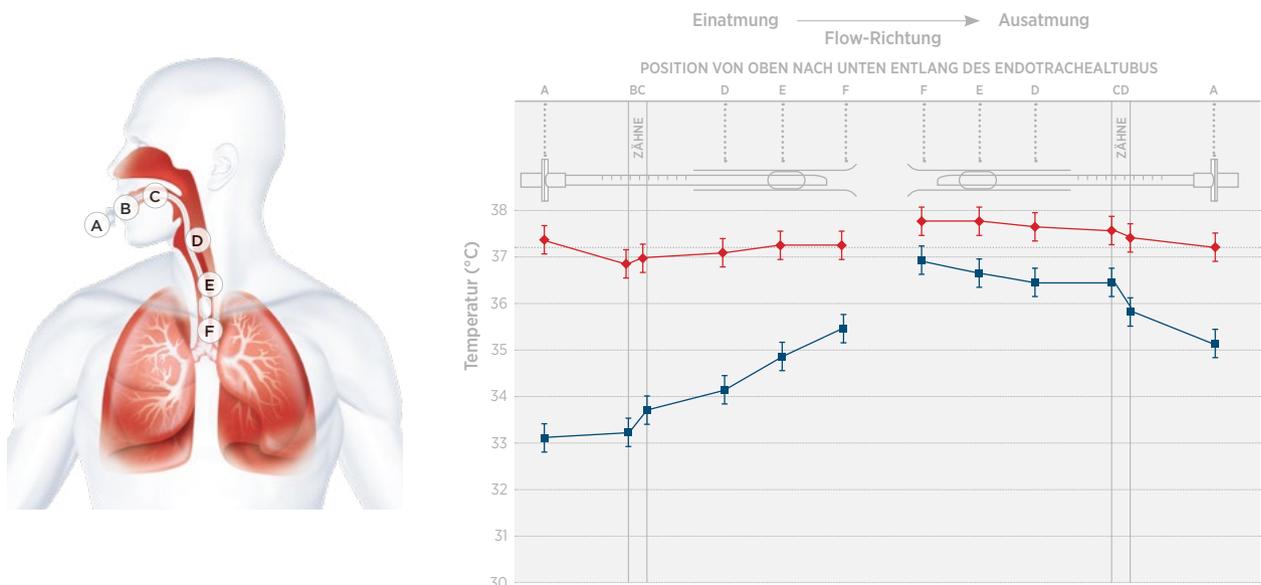


Abbildung 2: Temperaturveränderungen entlang des intubierten Atemwegs eines invasiv beatmeten Patienten während der Einatmung und Ausatmung. Die rote Linie und die Rauten stellen das Temperaturprofil dar, als die Temperatur des eingeatmeten Gases auf 37 °C eingestellt war. Die blaue Linie und die Quadrate stellen das Profil dar, als die Temperatur des eingeatmeten Gases auf 30 °C eingestellt war. Bild nach Ryan et al. (2002).⁴

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtsinhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



Die Arbeitsbelastung der Atemwege und der Wasserverlust sind nur dann neutral, wenn das eingeatmete Gas bei Körpertemperatur und gesättigt abgegeben wird. Da die Schleimhäute eines intubierten Patienten nur begrenzt in der Lage sind, die durch den Tubus eingeatmete Luft zu erwärmen und den Wassergehalt nicht erhöhen können (Abbildung 2), erhöht sich die Arbeitsbelastung der unteren Atemwege durch eingeatmete Luft, deren Temperatur unter der Körpertemperatur liegt oder die nicht vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist. Wenn die mechanische Beatmung länger als ein paar Stunden dauert, sollten die zur Atmungsunterstützung verwendeten Gase bei Körpertemperatur und gesättigt in die Atemwege geleitet werden, um die Belastung der unteren Atemwege für eine optimale Atemwegsfunktion zu minimieren.⁴

WICHTIGSTE PUNKTE

- Das mukoziliäre Transportsystem ist sowohl für die Konditionierung der Einatemluft mit Wärme und Feuchtigkeit als auch für die Verhinderung des Eindringens von Krankheitserregern in die Lunge wichtig.
- Das Gas wird vom Einatemungspunkt bis zur ISB durch zahlreiche Mechanismen für die Atmung konditioniert.
- Wenn die oberen Atemwege umgangen werden, sollten die Gase vor dem Einatmen konditioniert werden, um die Arbeitsbelastung der unteren Atemwege zu minimieren.



EINFÜHRUNG

Dieser Rückblick gibt eine Übersicht über die Schlüsselkonzepte von Feuchtigkeit und Thermoregulation, um die Rolle zu erläutern, die Wärme und Feuchtigkeit bei der Erreichung einer optimalen Gesundheit und Funktion der Atemwege während der invasiven Beatmung spielen.

WAS IST LUFTFEUCHTIGKEIT?

Luftfeuchtigkeit bezieht sich auf das Vorhandensein von Wasserdampf in der Atmosphäre oder einem Gas und kann mit der Temperatur variieren. Das Vorhandensein von Wasserdampf kann auf zwei Arten ausgedrückt werden:³

- Die absolute Luftfeuchtigkeit (AF) bezieht sich auf die Masse des in einem Gasvolumen enthaltenen Wasserdampfs, unabhängig von der Temperatur, und wird in Milligramm Wasser pro Liter Gas (mg H₂O/L) ausgedrückt.
- Die relative Luftfeuchtigkeit (RH) bezieht sich auf die Masse des in einem Gasvolumen enthaltenen Wasserdampfs im Verhältnis zur maximalen Wassermasse, die das Gasvolumen bei einer bestimmten Temperatur enthalten könnte, und wird in Prozent ausgedrückt.



Es besteht ein festes Verhältnis zwischen absoluter und relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Gas wird als gesättigt bezeichnet, d. h. es liegt bei 100 % relativer Luftfeuchtigkeit, wenn es für die jeweilige Temperatur seine maximale Kapazität an Wasserdampf hält. Wenn gesättigtes Gas jedoch erhitzt wird, erhöht sich seine Kapazität, Wasser zu binden. Obwohl also der absolute Wassergehalt unverändert bleibt, bedeutet die Erhöhung der Kapazität, dass die relative Luftfeuchtigkeit des Gases abnimmt (<100 % RH). Umgekehrt nimmt bei der Abkühlung eines gesättigten Gases seine Kapazität zur Aufnahme von Wasserdampf ab, und der überschüssige Wasserdampf, der nun nicht mehr gespeichert werden kann, geht als Kondensation verloren. Das Gas erreicht dann ein neues Sättigungsgleichgewicht bei der niedrigeren Temperatur.²

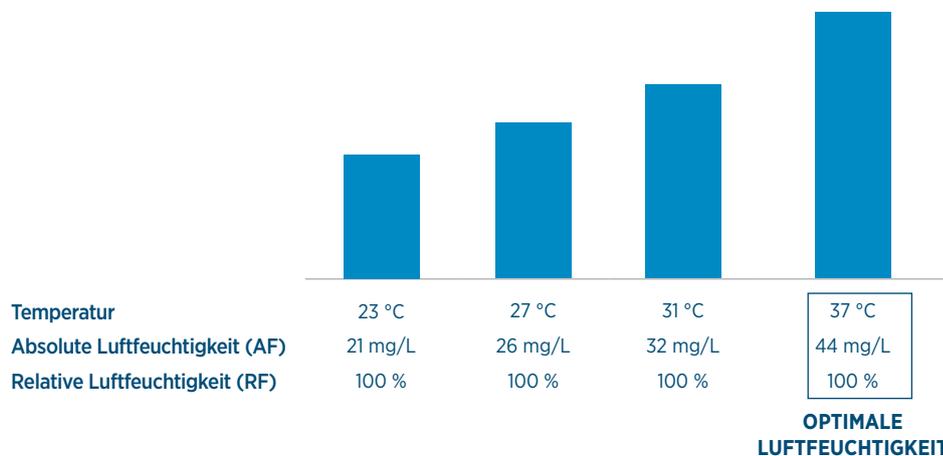


Abbildung 3: Die Fähigkeit eines Gases, Wasserdampf aufzunehmen, nimmt mit der Temperatur zu. Wenn Gas erhitzt wird, erhöht sich der maximale Wassergehalt, den es aufnehmen kann. Alle diese Proben sind gesättigt (100 % RF), enthalten aber unterschiedliche absolute Wasserdampfmengen.

Die Gesamtenergie der Luft setzt sich aus fühlbarer Wärme (die sich in der Lufttemperatur widerspiegelt) und latenter Wärme (die sich in der Wasserdampfmasse widerspiegelt) zusammen. Die Änderung der Temperatur von Wasser erfordert etwa doppelt so viel Energie wie die Änderung der Temperatur von Gas. Eine Änderung der Gastemperatur ohne Änderung des Wasserdampfgehalts hat, verglichen mit der Energiezufuhr durch die Zugabe von Wasserdampf, nur eine geringe Auswirkung auf die Gesamtenergie des Gases. Folglich enthält befeuchtete Luft bei gleicher Temperatur mehr Energie als trockene Luft.

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtsinhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



WAS IST OPTIMALE LUFTFEUCHTIGKEIT?

Im Zusammenhang mit dem intubierten Patienten bezieht sich der Begriff „optimale Luftfeuchtigkeit“ auf die Zufuhr von eingeatmetem Gas bei Körpertemperatur und vollständiger Sättigung (37 °C, 100 % RH), wodurch das Gas thermodynamisch neutral ist.⁴ Die Arbeitsbelastung der Atemwege und der Wasserverlust in den Atemwegen nehmen linear zu, wenn das eingeatmete Gas von diesen optimalen Werten abweicht, ebenso wie das Auftreten einer mukoziliären Dysfunktion.²

Es ist erwiesen, dass die Temperatur und die Feuchtigkeit des eingeatmeten Gases die Funktion der Schleimhäute entscheidend beeinflussen. Nur auf Kerntemperatur konditioniertes eingeatmetes Gas mit 100 % Sättigung ermöglicht eine optimale mukoziliäre Transportgeschwindigkeit (Abbildung 4).

Abbildung 4 ist eine grafische Darstellung der Schleimhautfunktion in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit der eingeatmeten Luft. Sie zeigt ein Kontinuum von Schleimhautfunktionsstörungen bei jeder Abweichung von der optimalen Luftfeuchtigkeit. Wie stark sich die Abweichung von der optimalen Luftfeuchtigkeit auf die Schleimhautfunktion auswirkt, hängt vom Ausmaß der Abweichung vom Optimum, der Dauer der Abweichung und der Gesundheit des Patienten ab.

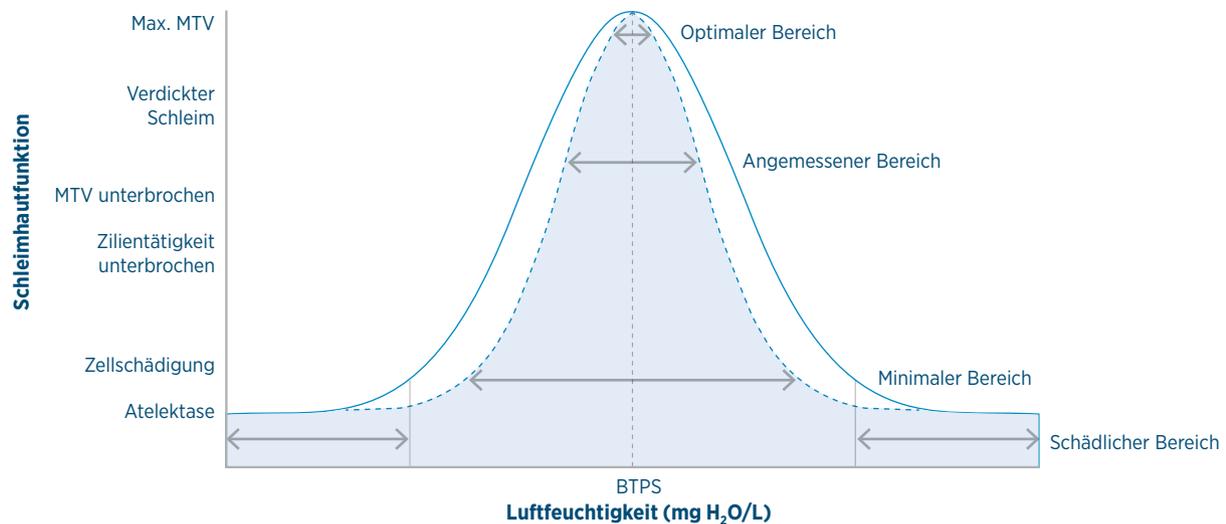


Abbildung 4: Kurve der Schleimhautfunktion im Vergleich zur eingeatmeten Luftfeuchtigkeit. Bild nach Williams et al. (1996).² Abkürzungen: BTPS, Körpertemperatur und -druck, gesättigt mit Wasserdampf; MTV, mukoziliäre Transportgeschwindigkeit.

Die Kurve ist für jeden Patienten einzigartig und hängt von den jeweiligen Therapiefaktoren ab; die parabolische Form der Kurve sollte jedoch bei allen Personen ähnlich sein.² Es wird erwartet, dass sich die Kurve bei schlechtem Gesundheitszustand verengt, da davon ausgegangen wird, dass ein schwerkranker Patient andere systemische Anforderungen hat, die ihn weniger widerstandsfähig gegenüber Wassermasse und den thermischen Herausforderungen für seine Atemwegsschleimhaut machen. Dies kann der Fall sein, wenn der Patient intubiert ist, wenn Gas mit hohen Flowraten verabreicht wird oder wenn die Therapie über einen längeren Zeitraum fortgesetzt wird. Diese Schwankungen bedeuten, dass die Befeuchtungsanforderungen von Patient zu Patient unterschiedlich sein können oder sich bei einem einzelnen Patienten im Laufe der Zeit ändern können.⁵

WICHTIGSTE PUNKTE

- Es besteht ein festes Verhältnis zwischen absoluter und relativer Luftfeuchtigkeit sowie der Temperatur.
- Wie stark sich die Abweichung von der optimalen Luftfeuchtigkeit auf die Schleimhautfunktion auswirkt, hängt vom Ausmaß und der Dauer der Abweichung vom Optimum sowie von der Gesundheit des Patienten ab.

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtsinhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



EINFÜHRUNG

Es gibt gute Gründe dafür, intubierten Patienten Atemgas so nahe wie möglich an der optimalen Luftfeuchtigkeit zuzuführen. In diesem Rückblick werden die verfügbaren Methoden zur Erwärmung und Befeuchtung von Atemgasen und ihre Anwendbarkeit für die Anforderungen von Patienten und Therapien beschrieben und verglichen.

Medizinische Gase und Raumluft sind oft viel trockener als unsere Lungen benötigen und zwingen das Atmungssystem, dies zu kompensieren (Tabelle 1).⁶

Tabelle 1: Mittlere Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit (RF) für medizinische Gase aus dem zentralen Gasversorgungssystem und Raumluft im Royal Women's Hospital (Melbourne, Australien) im Vergleich zur optimalen Luftfeuchtigkeit für die Atemfunktion. Daten von Dawson et al. (2014).⁶

Medizinischer Sauerstoff (am Wandanschluss)	Raumluft	Optimale Luftfeuchtigkeit
23 °C	23 °C	37 °C
2,1 % RH	41,1 % RH	100 % RH
0,4 mg H ₂ O/L	8,4 mg H ₂ O/L	44 mg H ₂ O/L

Die Befeuchtung von Atemgasen vor der Einleitung in die Atemwege wird in der Regel entweder durch aktive Befeuchtung mit einem beheizten Atemgasbefeuchter oder durch passive Befeuchtung mit einem Wärme- und Feuchtigkeitstauscher (HME) erreicht. Beide erwärmen das Gas und erhöhen die Luftfeuchtigkeit, wodurch Energie zugeführt wird.^{3,5} In welchem Umfang sie dies tun, und die Umstände, unter denen sie geeignet sind, variieren je nach Gerätetyp.

HAUPTMERKMALE VON AKTIVEN UND PASSIVEN ATEMGASBEFEUCHTERN

Bei aktiven Atemgasbefeuchtern wird die Luft über ein erwärmtes Wasserreservoir geleitet. Das Wasser in der Kammer verdampft, wodurch Wasserdampf in den Gasweg gelangt. Wasserdampf kann keine Infektionen übertragen,³ da Wassermoleküle um ein Vielfaches kleiner sind als Bakterien und Viren. Der HH wird im Inspirationsschenkel des Beatmungskreislaufs in der Nähe des Beatmungsgeräts platziert. Nachdem das Gas das Reservoir durchströmt und Feuchtigkeit aufgenommen hat, wird es entlang des Inspirationsschenkels in die Atemwege des Patienten geleitet (Abbildung 5).^{3,5}

Passive HME (auch künstliche Nasen genannt) ahmen die Befeuchtungswirkung der Nasenhöhle nach. HME werden zwischen dem Y-Stück und dem Atemweg des Patienten platziert.³ Diese Vorrichtungen enthalten ein Kondensatorelement, das beim Ausatmen Feuchtigkeit zurückhält, sodass beim nächsten Einatemzug, der das Element passiert, passiv Wärme und Feuchtigkeit aufgenommen werden kann. Anders als bei der Verwendung eines HH bedeutet dies, dass die Konditionierungsfähigkeit eines HME von der Bereitstellung von Wärme und Feuchtigkeit durch den Patienten abhängt.⁵ Die Befeuchtungsleistung von HME unterscheidet sich mitunter erheblich, wobei die absoluten Feuchtigkeitswerte von 48 getesteten Geräten zwischen 17 und 32 mg H₂O/L liegen.⁷

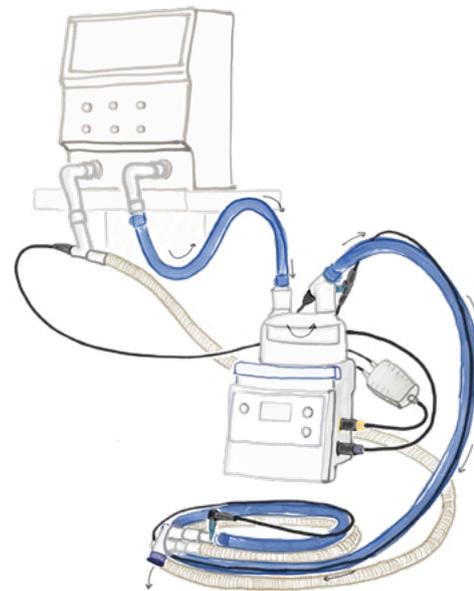


Abbildung 5: Aktive Befeuchter führen medizinischen Gasen vor dem Einatmung Wärme und Feuchtigkeit zu. Die Pfeile zeigen den Gasfluss zum Patienten für die Einatmung durch den Inspirationsschenkel (blau) an.

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtlichhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



EMPFEHLUNGEN UND KONTRAINDIKATIONEN

Es gibt keine Kontraindikationen für das Prinzip der Zufuhr von Wärme und Feuchtigkeit zu den eingeatmeten Gasen oder für die Verwendung eines beheizten Atemgasbefeuchters zu diesem Zweck. Es gibt jedoch einige Fälle, in denen HME kontraindiziert sind (Tabelle 2).

Tabelle 2 fasst die Empfehlungen der American Association for Respiratory Care (AARC) für die Befeuchtung während invasiver und nichtinvasiver Atmungsunterstützung für alle Bevölkerungsgruppen zusammen.⁸ Die AARC empfiehlt auf der Grundlage von Daten, die auf einen höheren Patientenkomfort und eine bessere Verträglichkeit hinweisen, für die nichtinvasive Beatmung die Verwendung eines HH anstelle eines HME.

Tabelle 2: Empfehlungen der American Association for Respiratory Care zur Befeuchtung während invasiver und nichtinvasiver Atmungsunterstützung.⁸

Die Befeuchtung wird für alle Patienten empfohlen, die invasiv beatmet werden.	Wenn Patienten mithilfe von HME invasiv beatmet werden, wird die Verwendung einer Mindestfeuchtigkeit von 30 mg H ₂ O/L empfohlen.
HH-Geräte werden für die nichtinvasive Atmungsunterstützung empfohlen, da sie die Therapietreue und den Komfort der Patienten verbessern können.	HME werden für die nichtinvasive Beatmung nicht empfohlen .
Es wird empfohlen, dass das HH-Gerät eine Luftfeuchtigkeit zwischen 33 und 44 mg H ₂ O/L und 34–41 °C am Y-Stück des Schlauchsystems sowie eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 % erreicht.	Bei Patienten mit niedrigen Tidalvolumina (z. B. bei lungenschonenden Beatmungsstrategien) werden HME aufgrund des zusätzlichen Totraums nicht empfohlen .
Aufgrund der Merkmale und Mechanismen, mit denen HME arbeiten, sind sie bei einigen Patientengruppen kontraindiziert , z. B. bei Patienten mit augenscheinlich blutigem oder dickem, in großen Mengen vorliegendem Sekret, einem ausgeatmeten Tidalvolumen <70 % des abgegebenen Tidalvolumens, einer Körpertemperatur <32 °C und bei Patienten mit nichtinvasiver Beatmung mit großer Maskenleckage.	

Zusätzlich zu den absoluten Kontraindikationen für HME, die von der AARC bei Patienten, die beatmet werden, genannt werden, gibt es viele andere Situationen, in denen in der Literatur erhebliche Bedenken hinsichtlich der Verwendung von HME geäußert wurden.

WICHTIGSTE PUNKTE

- Die Zuführung von Wärme und Befeuchtung zu den Gasen, die während der Atmungsunterstützung verabreicht werden, hat unabhängig von der Zuführungsmethode einen Nutzen für die Patienten. Der Nutzen der Zuführung von Wärme und Feuchtigkeit ist jedoch am größten, wenn die eingeatmete Luft den normalen physiologischen Bedingungen am nächsten kommt.
- Gegenwärtig gibt es keine veröffentlichten Kontraindikationen für die Erwärmung und Befeuchtung von Atemgasen oder die Verwendung eines beheizten Atemgasbefeuchters. Es gibt viele Situationen, in denen die Verwendung eines HME kontraindiziert ist.

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtsinhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



EINFÜHRUNG

Während beheizte Atemgasbefeuchter im Inspirationsschenkel des Schlauchsystems nahe am Beatmungsgerät platziert werden, werden HME-Geräte zwischen dem Y-Stück und dem Patienten nahe am Atemweg platziert.⁵ Die Positionierung von HME-Geräten kann den Widerstand gegen den Luftstrom nicht nur während der Einatmungs-, sondern auch während der Ausatmungsphase erhöhen.⁵ Dieser Rückblick beleuchtet die Unterschiede zwischen HH- und HME-Geräten sowohl für die Mechanik des Beatmungsgeräts als auch für die Mechanik der Lunge, wobei der Schwerpunkt auf den Auswirkungen auf die Patienten liegt.

AUSWIRKUNGEN AUF DAS BEATMUNGSGERÄT

Die Verwendung aktiver HH-Geräte bei Patienten, die volumenkontrolliert mechanisch beatmet werden, ermöglicht im Vergleich zu HME die Verwendung geringerer Tidalvolumina unter isokapnischen Bedingungen, was zu einer Verringerung des Atemwegs-Plateaudrucks und des Driving Pressure führt.^{9,10} In einer Crossover-Studie an 18 Patienten mit Hirnverletzungen und akutem Atemnotsyndrom (ARDS) ermöglichte der Ersatz des HME durch einen HH eine mediane Verringerung des Tidalvolumens um 120 mL ($p < 0,001$, 95%-KI [98, 144]), während der Atemwegs-Plateaudruck und der Driving Pressure um jeweils 3,7 cmH₂O reduziert wurden ($p < 0,001$, 95%-KI [-29, -4,3]).¹⁰ Die Reduzierung des Tidalvolumens und des Driving Pressure gehören zu den wichtigsten modifizierbaren Faktoren, die das Überleben von Patienten mit ARDS verbessern können.¹⁰ Wichtig für Patienten mit Hirnverletzungen ist, dass dieser Ansatz nicht mit Derekrutierung der Alveolen, Hypoxämie, Veränderungen der Hirndurchblutung oder verändertem Blutfluss verbunden ist.¹⁰

Der Wechsel von HME zu HH ermöglicht Folgendes:

- ↓ TIDALVOLUMEN
- ↓ ATEMWEGS-PLATEAUDRUCK
- ↓ DRIVING PRESSURE

Pitoni et al., 2020

Bei Patienten, die eine druckunterstützte Beatmung erhalten, kann die Verwendung eines HH die Anforderungen an die Druckunterstützung im Vergleich zu einem HME verringern, was bei der Entwöhnung von der mechanischen Beatmung hilfreich sein kann.^{11,12} Eine randomisierte Crossover-Studie an 11 Patienten mit chronischer respiratorischer Insuffizienz ergab, dass eine Erhöhung der druckunterstützten Beatmung um ≥ 8 cmH₂O erforderlich war, um die Auswirkungen der Verwendung eines HME im Vergleich zur Verwendung eines HH zu kompensieren.¹¹

„... die Reduzierung von künstlichem Totraum in den Atemwegen durch eine Änderung der Befeuchtungsgeräte scheint ein nützliches und einfaches Manöver zur Kontrolle der PaCO₂-Werte zu sein.“

Morán et al., 2006

AUSWIRKUNGEN AUF DIE LUNGE UND DIE ATEMARBEIT

Bei Patienten, die volumenkontrolliert mechanisch beatmet werden, reduziert die Verwendung von HH anstelle von HME den Gesamttotraum, ohne den alveolären Totraum zu beeinträchtigen.^{9,10} In einer Studie mit 17 Patienten mit akuter Lungeninsuffizienz oder ARDS (gemäß den Kriterien der American-European Consensus Conference) führte der Ersatz von HME durch HH zu einer signifikanten Senkung der PaCO₂-Werte (40 vs. 46 mmHg, $p < 0,001$) und einer signifikanten Verbesserung der Compliance des Atmungssystems (42 vs. 35 mL/cmH₂O, $p < 0,001$).⁹

Im Vergleich zu HME reduziert die Verwendung von HH die Atemarbeit bei Patienten, die druckunterstützt beatmet werden.^{11,12} In der Studie von Girault et al. (2003) führte die Umstellung auf einen HME außerdem zu einer schweren respiratorischen Azidose, die nicht durch eine Erhöhung des Atemminutenvolumens um 1,0 L/min kompensiert werden konnte ($p < 0,005$).¹¹

Die signifikant höheren PaCO₂-Werte, die während der Verwendung von HME im Vergleich zu HH beobachtet wurden (von 1,5 bzw. 1,9 kPa je nach Stufe der druckunterstützten Beatmung, beide $p < 0,01$), führten ebenfalls zu erheblichen Atembeschwerden bei den Patienten.¹¹

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtlichhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



WICHTIGSTE PUNKTE

- Die Wahl des Befeuchtungsgeräts kann erhebliche Auswirkungen auf das Management des Beatmungsgeräts haben.
- Ein HH-Gerät ermöglicht den Einsatz von lungenschonenden Beatmungsstrategien und kann die Compliance des Atmungssystems im Vergleich zu einem HME verbessern.
- Die Verwendung von HH verringert die Anforderungen an die Druckunterstützung und reduziert die Atemarbeit im Vergleich zu einem HME.



EINFÜHRUNG

Die beheizte Atemgasbefeuchtung reduziert die Notwendigkeit der Rückgewinnung von Wärme und Feuchtigkeit aus dem ausgeatmeten Gas und minimiert den systemischen Wärme- und Feuchtigkeitsverlust.² Wenn die Luft mit optimaler Luftfeuchtigkeit zugeführt wird, werden die Rheologie und ein normales Volumen der Atemwegssekrete aufrechterhalten, die mukoziliäre Clearance wird maximiert und Entzündungsreaktionen aufgrund von thermischen oder flüssigkeitsbedingten Ungleichgewichten in den Atemwegen werden verhindert.² Die Atemwegsdurchgängigkeit und die Lungencompliance werden unterstützt, wodurch die Lungenmechanik erhalten bleibt.² Eine optimale Atemwegsabwehr durch das mukoziliäre Transportsystem ist nur gegeben, wenn das eingeatmete Gas die Eigenschaft „Körpertemperatur und -druck, gesättigt“ (BTPS) aufweist.²

Dieser Rückblick befasst sich schwerpunktmäßig mit klinischen Daten, die zeigen, wie der Einsatz von aktiven beheizten Atemgasbefeuchtern (HH) im Vergleich zu passiven Wärme- und Feuchtigkeitstauschern (HME) die Ergebnisse bei Patienten beeinflusst, die mechanisch beatmet werden.

DATEN AUS DER LITERATUR

GERINGERE BELASTUNG DER ATEMWEGE

Thomachot et al., 2001

- In einer randomisierten Crossover-Studie mit 10 Intensivpatienten, die mechanisch beatmet wurden, wurde untersucht, ob die Veränderung der Trachealtemperatur eine zuverlässige Schätzung des gesamten respiratorischen Wärmeverlusts darstellt.
- Die Patienten wurden über drei aufeinanderfolgende 24-Stunden-Zeiträume lang mit HH-, hydrophoben HME- und hygroskopischen HME-Geräten beatmet.
- Der gesamte respiratorische Wärmeverlust war bei Verwendung von HH signifikant geringer als mit beiden HME-Geräten ($p < 0,01$).
- HH war das Gerät mit der besten Leistung in Bezug auf die Maximierung der relativen und absoluten Luftfeuchtigkeit des eingeatmeten Gases.¹³

VERBESSERTE SEKRETQUALITÄT *Martin et al., 1990*

- In einer prospektiven, randomisierten Studie mit 73 Intensivpatienten, die mechanisch beatmet wurden, wurden die Sicherheit und Effizienz eines gefilterten HME-Geräts mit der eines HH-Geräts verglichen.
- Dickes und zähes Bronchialsekret trat in der HME-Gruppe an 4 % der Tage auf, in der HH-Gruppe dagegen an keinem Tag ($p < 0,02$).
- In der HME-Gruppe kam es bei sechs Patienten zu einer Okklusion des Tracheostomie-Tubus, in der HH-Gruppe dagegen nicht ($p < 0,01$).
- Eine Unterkühlung trat an 22 % der Tage in der HME-Gruppe auf, verglichen mit 12 % der Tage in der HH-Gruppe ($p < 0,01$).
- Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass HME keine ausreichende Atemgasbefeuchtung bieten kann und bei Patienten mit einem Atemminutenvolumen >10 L/min zu einem erhöhten Risiko einer Okklusion des Trachealtubus führen könnte. Sie stellten ferner fest, dass intratracheale Instillationen allein nicht immer einen ausreichenden Schutz vor Atemwegsobstruktionen bieten.¹⁴

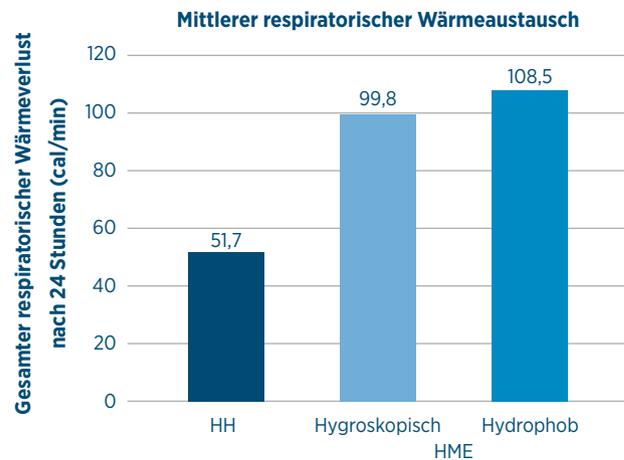


Abbildung 6: Durchschnittlicher respiratorischer Wärmeverlust nach 24 Stunden bei aktiver oder passiver Atemgasbefeuchtung. Daten aus Thomachot et al., 2001.¹³

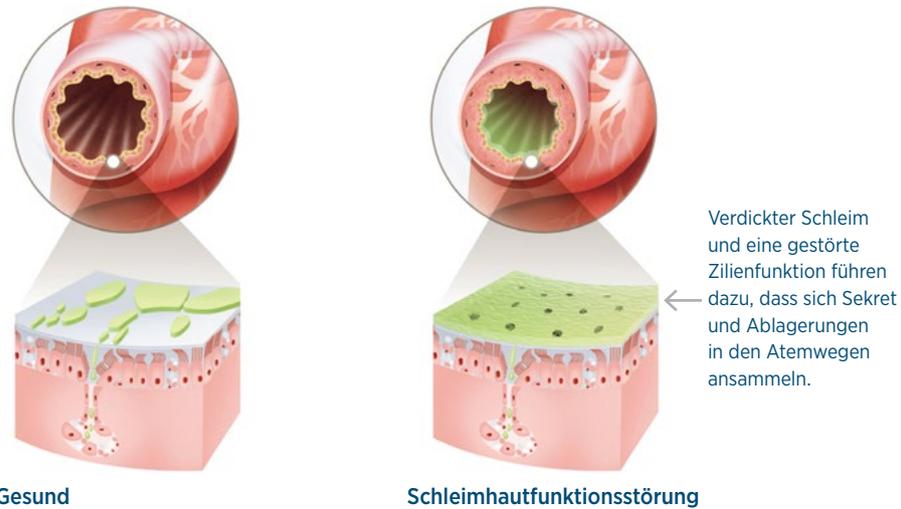


Abbildung 7: Abweichungen von der optimalen Luftfeuchtigkeit beeinträchtigen den mukoziliären Transport zunehmend und können das Risiko einer Atemwegsobstruktion erhöhen.

REDUZIERTER OBSTRUKTION DER ATEMWEGE BEI COVID-19-PATIENTEN GINESTRA ET AL., 2020

- Ein Bericht aus einer multizentrischen Studie in Pennsylvania, USA, vor und nach Einführung eines überarbeiteten Atemwegsmanagementprotokolls für mechanisch beatmete Patienten mit COVID-19.
- Zu Beginn des COVID-19-Ausbruchs begannen die Zentren mit der Verwendung von HME, da sie der Meinung waren, dass diese die Exposition des medizinischen Fachpersonals verringern könnten.
 - Nach dieser Änderung nahmen die Berichte über Komplikationen der Atemwege zu.
 - Eine Literaturrecherche ergab, dass es nur wenige Belege für den Schutz von medizinischem Fachpersonal durch HME gibt.
- In einem überarbeiteten Protokoll wurde die Verwendung von HH-Geräten anstelle von HME für alle neuen und vorhandenen Beatmungskreisläufe vorgeschrieben. Alle mechanisch beatmeten Patienten auf den Intensivstationen wurden innerhalb von 24 Stunden von HME auf HH umgestellt.¹⁵
 - Eine retrospektive Überprüfung an zwei Prüfzentren ergab, dass vor der Protokolländerung 36 % der routinemäßig extubierten Patienten innerhalb von 48 Stunden erneut intubiert werden mussten und 9,2 % der Patienten eine Obstruktion des Endotrachealtubus (ETT) aufwiesen, die einen dringenden ETT-Austausch erforderte.
 - Nach der Überarbeitung des Protokolls sank die Rate der Reintubationen auf 9 % der Patienten und die Rate der ETT-Obstruktionen, die einen Austausch erforderlich machten, auf 0,71 % der Patienten.
 - In den letzten 19 Tagen der 6-wöchigen Studie kam es innerhalb von 48 Stunden nach der Extubation zu keinen Reintubationen.

WICHTIGSTE PUNKTE

- Aufgrund ihrer Unabhängigkeit können HH-Geräte die Feuchtigkeit des eingeatmeten Gases maximieren und den respiratorischen Wärmeverlust bei mechanisch beatmeten Patienten im Vergleich zu HME minimieren.
- Im Vergleich zu einem HME reduziert die Verwendung eines HH-Geräts bei mechanisch beatmeten Patienten die Häufigkeit einer künstlichen Atemwegsokklusion.
- Diese Auswirkungen sind besonders wichtig für Patienten mit Erkrankungen, bei denen ein hohes Risiko für Atemwegskomplikationen besteht (z. B. COVID-19).

Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtsinhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.



- Wie stark sich die Abweichung von der optimalen Luftfeuchtigkeit auf die Schleimhautfunktion auswirkt, hängt vom Ausmaß und der Dauer der Abweichung vom Optimum sowie von der Gesundheit des Patienten ab.

- Aufgrund ihrer Unabhängigkeit können HH-Geräte die Feuchtigkeit des eingeatmeten Gases maximieren und den respiratorischen Wärmeverlust bei mechanisch beatmeten Patienten im Vergleich zu HME minimieren.

- Gegenwärtig gibt es keine veröffentlichten Kontraindikationen für die Erwärmung und Befeuchtung von Atemgasen oder die Verwendung eines HH-Geräts. Es gibt viele Situationen, in denen die Verwendung eines HME kontraindiziert ist.

- Ein HH-Gerät ermöglicht den Einsatz von lungenschonenden Beatmungsstrategien und verbessert die Compliance des Atmungssystems im Vergleich zu einem HME.

- Im Vergleich zu einem HME reduziert die Verwendung eines HH-Geräts bei mechanisch beatmeten Patienten die Häufigkeit einer künstlichen Atemwegsokklusion.

AARC

American Association for Respiratory Care.

ABSOLUTE LUFTFEUCHTIGKEIT (AF)

Die Menge des in der Luft vorhandenen Wasserdampfs, unabhängig von der Temperatur (ausgedrückt in mg H₂).

AZIDOSE

Überschüssige Säure in den Körperflüssigkeiten (niedriger pH-Wert <7,35). Eine respiratorische Azidose kann durch eine gestörte Ausscheidung und eine anschließende Anreicherung von Kohlendioxid verursacht werden.

AKUTES ATEMNOTSYNDROM (ARDS)

Ein Syndrom, bei dem das Atmungssystem in einer oder beiden seiner Gasaustauschfunktionen versagt: Sauerstoffzufuhr und Kohlendioxidausscheidung.

AKUTE RESPIRATORISCHE INSUFFIZIENZ (ARF)

Verminderte Sauerstoffaufnahme, die zu niedrigem Sauerstoffgehalt im Blut (Hypoxämie) führt, sowie verminderte Ausscheidung von Kohlendioxid, was zu hohem Kohlendioxid (Hyperkapnie) führen kann.

ALVEOLEN

Winzige Luftbläschen in der Lunge, durch die Sauerstoff in den Blutkreislauf eintritt und Kohlendioxid den Blutkreislauf verlässt.

ATELEKTASE

Verminderte oder fehlende Luft in der Lunge, was zu einem Verlust von Lungenvolumen führt.

KÖRPERTEMPERATUR UND -DRUCK, GESÄTTIGT (BTPS)

Ein Zustand mit Körpertemperatur, Umgebungsdruck und gesättigtem Wasserdampf (100 % relative Luftfeuchtigkeit).

ZILIEN

Haarähnliche Strukturen auf der Oberfläche von Epithelzellen in den Atemwegen.

TOTRAUM

Ein Gasvolumen, das nicht am Gasaustausch teilnimmt und sowohl in den Einatmungs- als auch in den Ausatemungskanälen vorhanden ist. Es gibt verschiedene Arten von Totraum darunter:

- Alveolärer Totraum: Alveolen, die zwar mit Luft versorgt, aber nicht durchblutet sind und daher keinen Sauerstoff an das Blut abgeben können.
- Anatomischer Totraum: Gasvolumen in der Leitungszone der Lunge und der oberen Atemwege (Volumen, das nicht in die Alveolen gelangt).
- Instrumenteller Totraum (auch als Apparat- oder mechanischer Totraum bezeichnet): Volumen, das vorhanden ist, weil verwendete Geräte ein erneutes Einatmen von Gasen verursachen.
- Physiologischer Totraum: Anatomischer und alveolärer Totraum.

TAUPUNKT

Die Temperatur, bei der die Luft vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist (100 % relative Luftfeuchtigkeit) und unterhalb derer Wasserdampf zu flüssigem Wasser kondensiert.

ENDOTRACHEALTUBUS (ETT)

Ein künstlicher Atemweg, der durch den Mund oder die Nase in die tracheobronchialen Atemwege eines Patienten eingeführt und durch die Stimmbänder geführt wird. Das äußere Ende des Schlauchs wird entweder mit einem manuellen Erstversorgungssystem oder mit einem an ein Beatmungsgerät angeschlossenen Kreislauf verbunden.

EXTUBATION

Zurückziehen eines Endotrachealtubus (ETT) aus den Atemwegen eines Patienten.

FUNKTIONELLE RESIDUALKAPAZITÄT (FRC)

Das Luftvolumen, das nach einer typischen Ausatemungsphase in der Lunge verbleibt; wichtig, um die Lunge nach der Ausatmung offen zu halten und den passiven Gasaustausch fortzusetzen.

BEHEIZTER ATEMGASBEFEUCHTER (HH)

Ein Gerät, das dem eingeatmeten Gas über externe Quellen aktiv Wärme und Wasserdampf zuführt.



WÄRME- UND FEUCHTIGKEITSTAUSCHER (HME)

Ein passives Atemgasbefeuchtungsgerät, das einen Teil der Wärme und Feuchtigkeit aus der ausgeatmeten Luft des Patienten auffängt, speichert und während des Einatmens in das eingeatmete Gasgemisch zurückführt.

INTUBATION

Das Einführen eines Endotrachealtubus (ETT) in die Luftröhre.

ISOTHERMISCHE SÄTTIGUNGSGRENZE (ISB)

Der Punkt innerhalb der Atemwege, an dem die eingeatmete Luft auf Körpertemperatur und 100 % relative Luftfeuchtigkeit konditioniert wird und unterhalb dessen die Luftkonditionierung konstant bleibt.

INVASIVE BEATMUNG

Die Verwendung eines invasiven künstlichen Atemwegs, um die Spontanatmung mechanisch zu unterstützen oder zu ersetzen, wenn ein Patient dazu nicht in der Lage ist. Wird oft gleichbedeutend mit mechanischer Beatmung verwendet.

MUKOZILIÄRES TRANSPORTSYSTEM (MTS)

Ein Abwehrsystem der Atemwege, das Verunreinigungen im Schleim auffängt und diese durch Zilienschläge aus den Atemwegen transportiert.

NICHTINVASIVE BEATMUNGSTHERAPIE (NIV)

Die Bereitstellung von positiver Druckbeatmung ohne die Notwendigkeit eines invasiven künstlichen Atemwegs.

OPTIMALE LUFTFEUCHTIGKEIT

Der Zustand, in dem das eingeatmete Gas in den Atemwegen erwärmt und befeuchtet wird. Bei einem Patienten mit normaler Körpertemperatur sind dies 37 °C und 44 mg H₂O/L (BTPS).

ARTERIELLER SAUERSTOFFPARTIALDRUCK (PaO₂)

Der Teil des Gesamtgasdrucks im Blut, der auf Sauerstoffgas entfällt; ein Maß dafür, wie viel Sauerstoff im Blut gelöst ist und wie gut Kohlendioxid vom Körper abgegeben werden kann.

ARTERIELLER KOHLENDIOXIDPARTIALDRUCK (PaCO₂)

Der Partialdruck des Kohlendioxids im arteriellen Blut – eine der Komponenten, die bei der arteriellen Blutgasuntersuchung gemessen werden und einen diagnostischen Indikator für Hyperkapnie darstellen.

DURCHGÄNGIGER ATEMWEG

Ein offener und freier Atemweg.

INSPIRATORISCHER SPITZENDRUCK (PIP)

Der höchste Druck, der während der Einatmung auf die Lunge wirkt.

POSITIVER ENDEXPIRATORISCHER DRUCK (PEEP)

Im Zusammenhang mit einem positiven Atemwegsdrucksystem ist der PEEP der positive Atemwegsdruck, der während der Ausatemungsphase des Atemzyklus verabreicht wird.

RANDOMISIERTE KONTROLLIERTE STUDIE (RCT)

Es wird nach dem Zufallsprinzip entschieden, welche Teilnehmer eine oder mehrere klinische Interventionen entweder erhalten oder nicht erhalten, um ausgewählte Ergebnisse zwischen den Gruppen zu vergleichen. Mit diesem Verfahren sollen Verzerrungsquellen reduziert werden.

RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT (RH)

Die in der Luft vorhandene Wasserdampfmenge, ausgedrückt als Prozentsatz der für die Sättigung bei gleicher Temperatur erforderlichen Menge.

ATEMFREQUENZ

Die Anzahl der Atemzüge innerhalb eines bestimmten Zeitraums.

SÄTTIGUNG

Beschreibt den Zustand eines Gases bei 100 % relativer Luftfeuchtigkeit.

TIDALVOLUMEN (V_T)

Das pro Atemzug ein- oder ausgeatmete Volumen.

TRACHEOSTOMIE

Künstliche Öffnung durch den Hals in die Luftröhre.

ATEMARBEIT (WOB)

Die Kraft, die erforderlich ist, um die Lunge entgegen ihren elastischen Eigenschaften auszudehnen.



1. **PubMed** Jackson C. Humidification in the upper respiratory tract: a physiological overview. *Intensive Crit Care Nurs.* 1996;12(1):27–32.
2. **PubMed** Williams RB, Rankin N, Smith T, Galler D, Seakins P. Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of airway mucosa. *Crit Care Med.* 1996;24(11):1920–9.
3. **PubMed** Schulze A. Respiratory gas conditioning and humidification. *Clin Perinatol.* 2007;34(1):19–33.
4. **PubMed** Ryan SN, Rankin N, Meyer E, Williams R. Energy balance in the intubated human airway is an indicator of optimal gas conditioning. *Crit Care Med.* 2002 Feb;30(2):355–61.
5. **PubMed** Al Ashry HS, Modrykamien AM. Humidification during mechanical ventilation in the adult patient. *Biomed Res Int.* 2014/06/25. 2014;2014:715434.
6. **PubMed** Dawson JA, Owen LS, Middleburgh R, Davis PG. Quantifying temperature and relative humidity of medical gases used for newborn resuscitation. *J Paediatr Child Health.* 2014 Jan;50(1):24–6.
7. **PubMed** Lellouche F, Taillé S, Lefrançois F, Deye N, Maggiore SM, Jouvét P, et al. Humidification performance of 48 passive airway humidifiers: comparison with manufacturer data. *Chest.* 2009 Feb;135(2):276–86.
8. **PubMed** Restrepo RD, Walsh BK. AARC Clinical Practice Guideline. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation: 2012. *Respir Care.* 2012 May;57(5):782–8.
9. **PubMed** Morán I, Bellapart J, Vari A, Mancebo J. Heat and moisture exchangers and heated humidifiers in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome patients. Effects on respiratory mechanics and gas exchange. *Intensive Care Med.* 2006 Apr;32(4):524–31.
10. **PubMed** Pitoni S, D'Arrigo S, Grieco DL, Idone FA, Santantonio MT, Di Giannatale P, et al. Tidal Volume Lowering by Instrumental Dead Space Reduction in Brain-Injured ARDS Patients: Effects on Respiratory Mechanics, Gas Exchange, and Cerebral Hemodynamics. *Neurocrit Care.* 2020 Apr 22;1–10.
11. **PubMed** Girault C, Breton L, Richard J-C, Tamion F, Vandelet P, Aboab J, et al. Mechanical effects of airway humidification devices in difficult to wean patients*. *Crit Care Med.* 2003; 31(5):1306–11.
12. **PubMed** Lucato JJJ, Cunha TMND, Reis AMD, Picanço PSA, Barbosa RCC, Liberali J, et al. Ventilatory changes during the use of heat and moisture exchangers in patients submitted to mechanical ventilation with support pressure and adjustments in ventilation parameters to compensate for these possible changes: a self-controlled intervention study in humans. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2017;29(2):163–70.
13. **PubMed** Thomachot L, Viviand X, Lagier P, Dejode JM, Albanèse J, Martin C. Measurement of tracheal temperature is not a reliable index of total respiratory heat loss in mechanically ventilated patients. *Crit Care.* 2000/12/08. 2001;5(1):24–30.
14. **PubMed** Martin C, Perrin G, Gevaudan MJ, Saux P, Gouin F. Heat and moisture exchangers and vaporizing humidifiers in the intensive care unit. *Chest.* 1990 Jan;97(1):144–9.
15. **NEJM** Ginestra JC, Atkins J, Mikkelsen M, Mitchell OJL, Gutsche J, Jablonski J, et al. The I-READI Quality and Safety Framework: A Health System's Response to Airway Complications in Mechanically Ventilated Patients with Covid-19. *NEJM Catal.* 2021 Nov 7;2(1).



Alle Zusammenfassungen klinischer Arbeiten werden von Biowrite Solutions unabhängig verfasst. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Urheberrechtsinhabers in irgendeiner Form und in irgendeiner Sprache reproduziert werden. Obwohl mit großer Sorgfalt darauf geachtet wurde, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung richtig sind, übernehmen weder Biowrite Solutions noch Fisher & Paykel Healthcare Verantwortung oder Haftung für die weitere Richtigkeit der Informationen oder für Fehler, Auslassungen oder Ungenauigkeiten oder für die sich daraus ergebenden Konsequenzen.

Für weitere Informationen wenden Sie sich an die für Sie zuständige Fisher & Paykel Healthcare-Vertretung