

Nicht-invasive Beatmung

Konsensus-Statement zu Indikation, Möglichkeiten und Durchführung bei der akuten respiratorischen Insuffizienz

Vor etwa einem halben Jahrhundert wurde die apparative Beatmung Ausgangspunkt einer neuen Disziplin – der Intensivmedizin. Sie ist ein wesentlicher Bestandteil der intensivmedizinischen Behandlung geblieben. Technischer Fortschritt und eingehende pathophysiologische Erkenntnisse haben seitdem die Verfahren und ihre Anwendung erheblich verbessert und differenziert. Seitdem wurde zunehmend deutlich, dass die apparative Beatmung auch schädigende Auswirkungen hat, die nicht nur mit ihrer Pathophysiologie (Folge: physikalische und biochemische Lungenschädigung) [18, 43], sondern auch wesentlich mit ihrer Invasivität (Folge: z. B. nosokomiale Pneumonien) in Verbindung gebracht werden müssen. Als „invasiv“ wird hierbei die Beatmung über einen künstlichen Atemweg (z. B. Endotrachealtubus oder Tracheostomietubus) verstanden, mit dem der natürliche Atemweg mit seinen physiologischen Funktionen teilweise umgangen wird. Eine internationale Konsensus-Konferenz wird sich im September dieses Jahres mit der auf der Intensivstation erworbenen nosokomialen Pneumonie beschäftigen.

So ist es nur folgerichtig, wenn seit den letzten zehn Jahren vermehrt die apparative Beatmung mit nicht-invasivem Zugang – die „non-invasive ventilation“ NIV – propagiert wird. Dieser Zugangsweg über eine dichtschießende Maske ist keineswegs neu. Im neuen Bewusstsein der Grenzen und Risiken der invasiven Beatmung besinnt man sich jetzt jedoch der guten Argumente für ein nicht-invasives Vorgehen.

Wie stets an Scheidewegen besteht hier die Gefahr, dass sich die Ansichten polarisieren, anstatt die Vorteile und Grenzen beider Prinzipien kritisch abzuwägen, um schließlich von den jeweiligen Möglichkeiten und Stärken beider Verfahren allseits zu profitieren.

Es ist das Ziel dieses Konsensus-Statements, die besonderen Indikationen, Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen der NIV nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand auszuloten. So soll das nicht-invasive Verfahren dem invasiven gegenübergestellt werden, damit das jeweilige Potential beider Verfahren am besten genutzt werden kann. Da viele Intensivmediziner bislang noch keine oder nur wenig Erfahrung mit den nicht-invasiven Verfahren gemacht haben, sollen auch praktische Aspekte vorgestellt werden, die gerade bei der NIV oft entscheidend sind für Erfolg und Akzeptanz einerseits oder Misserfolg und Verweigerung andererseits.

Das nachfolgende Konsensus-Statement soll also Anwendern der NIV praktische Entscheidungshilfe anbieten und die „Noch-nicht-Anwender“ anregen, diese erfolgversprechende Bereicherung des Spektrums apparativer Beatmung anzunehmen.

Stellenwert der nicht-invasiven Beatmung bei den verschiedenen Ursachen akuter respiratorischer Insuffizienz

Seit der ersten klinischen Anwendung [37] ist die nicht-invasive Beatmung („non-invasive ventilation“, NIV) in einer Vielzahl von klinischen Situationen

und bei unterschiedlichsten Patientengruppen untersucht worden. Hierdurch konnte der Stellenwert der NIV bei der Behandlung von Patienten mit akuter respiratorischer Insuffizienz (ARI) eindrücklich belegt werden, wobei allerdings auch klar wurde, dass der richtigen Patientenauswahl eine entscheidende Bedeutung zukommt.

Dieses Konsensus-Statement wurde verfasst von Experten verschiedener Fachdisziplinen, die sich zu einer Task Force im Rahmen der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Beatmung“ der DIVI (Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin) unter der Federführung von H. Burchardi (Göttingen) zusammengefunden haben: Den Internisten C.P. Criée (Lengler), B. Hoffmann (Magdeburg), J. Lorenz (Lüdenscheid), B. Schönhofer (Schmallenberg), W. Seeger (Gießen), C. Vogelmeier (Marburg), H. D. Walmrath (Gießen), T. Welte (Magdeburg) und den Anästhesisten J. Briegel (München), H. Burchardi (Göttingen), R. Kuhlen, (Aachen), E. Müller (Düsseldorf), D. Pappert (Potsdam), C. Putensen (Bonn), M. Quintel (Mannheim), M. Sydow (Dortmund). In ihrem Namen hat die kleinere Autorengruppe den nachfolgenden Text erstellt.

Erstpublikation in Intensivmedizin und Notfallmedizin, 38:611–621 (2001) Steinkopff Verlag 2001.

Prof. Dr. H. Burchardi
Zentrum Anaesthesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin Universitätsklinikum Göttingen, Robert-Koch-Straße 40, 37075 Göttingen, E-Mail: hburcha@gwdg.de

Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)

Eindeutige Hinweise für den Nutzen der NIV wurden bei Patienten mit *akuter Exazerbation einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD)* gefunden. Hier konnten durch NIV nicht nur der pulmonale Gasaustausch und subjektive Anzeichen der Dyspnoe verbessert werden [6], sondern es wurde auch übereinstimmend eine geringere Intubationshäufigkeit in den mit NIV behandelten Patienten verglichen zu einer Kontrollgruppe ohne Atemunterstützung beobachtet [6, 9, 27]. Eine Meta-Analyse dieser randomisierten, kontrollierten Studien konnte bestätigen, dass mit der NIV die Intubationshäufigkeit bei COPD-Patienten deutlich zu senken ist, darüber hinaus ergab sich eine geringere Letalität in der Gruppe der mit NIV behandelten Patienten [19]. Auf dem Boden dieser Daten ist die akute Exazerbation der COPD zu einer klaren Indikation für NIV geworden.

Akute respiratorische Insuffizienz (ARI)

Weniger eindeutig, allerdings ähnlich vielsprechend sind die Daten zur NIV bei der *akuten respiratorischen Insuffizienz bei nicht vorbestehender COPD*. Bei hypoxämischer ARI wurde in einer Studie kein Einfluss der NIV auf die Intubationshäufigkeit, die Dauer des Intensivaufenthaltes oder gar die Letalität gefunden [53], während in einer Untersuchung von Patienten mit nosokomial erworbener Pneumonie sowohl die Intubationshäufigkeit als auch der Intensivaufenthalt durch NIV reduziert wurde, allerdings ohne Einfluss auf die Letalität [10]. Bei einer Studie an immunsupprimierten Patienten reduzierte NIV die Häufigkeit der Intubationen, der pulmonalen Komplikation sowie die Letalität auf der Intensivstation [15]. Bei organtransplantierten Patienten mit ARI wirkte sich die NIV auf Intubationshäufigkeit, sowie Aufenthalt und Letalität auf der Intensivstation – aufgrund einer geringeren Komplikationsrate – positiv aus; allerdings blieb die Krankenhausletalität unbeeinflusst [3]. Dieselbe Gruppe berichtete auch bei hypoxämischer ARI über einen positiven Effekt der NIV im Vergleich zur invasiven Beatmung, da sie ebenso effektiv den Gasaustausch ver-

besserte, aber mit weniger Nebenwirkungen und Komplikationen und folgerichtig mit einem kürzeren Intensivaufenthalt verbunden war [4]. Auf der Grundlage dieser Daten kann die NIV auch bei ARI, die nicht auf dem Boden einer COPD entsteht, als Therapiekomponente empfohlen werden. Erfolgversprechend ist auch der Ansatz, bei bestimmten Verlaufsformen der ARI die NIV als Alternative der invasiven Beatmung zu sehen [4], wie etwa im Frühstadium des akuten Lungenversagens [45]. Dieses bedarf allerdings unbedingt einer Überprüfung an größeren Patientenkollektiven bevor eine entsprechende Empfehlung hierzu gegeben werden kann.

Kardial bedingtes Lungenödem

Weitere Indikationen für die Durchführung einer NIV – vor allem als „erweiterter Masken CPAP“ – bestehen bei Patienten mit *kardiogenem Lungenödem*. Grundlage für diese Indikation bietet eine Reihe von Untersuchungen, die belegen, dass der Gasaustausch und damit auch die Kreislauffunktion durch NIV positiv beeinflusst werden; folgerichtig mussten die Patienten seltener intubiert werden (Lit. bei [20], sowie [16, 34]). Eine Senkung der Letalität ließ sich dadurch jedoch nicht nachweisen. Es sollte beachtet werden, dass der Stellenwert der NIV beim Lungenödem im Rahmen eines akuten Myokardinfarkts nicht belegt ist, weswegen hier zur Vorsicht geraten wird [38]. Bei zusätzlich bestehender Hyperkapnie – im Sinne einer Überlastung der Atemmuskulatur – wirkte sich eine inspiratorische Druckunterstützung (d. h. „pressure support ventilation“, PSV) günstig aus [46].

Entwöhnung von der Beatmung

Während die NIV häufig zur Vermeidung der Intubation vor einer invasiven Beatmung eingesetzt wird, besteht eine weitere Anwendung aber auch bei der *Entwöhnung von der maschinellen Beatmung*. In zwei Untersuchungen an COPD-Patienten konnte gezeigt werden, dass die systematische Anwendung der NIV bei schwierig zu entwöhnenden Patienten die Dauer der endotrachealen Intubation und damit die Dauer der maschinellen Beatmung ebenso wie die Rate gescheiterter Entwöhnungen verbesserte [12, 42]. Auf dem Boden dieser Da-

ten kann die NIV bei COPD-Patienten empfohlen werden, um im Rahmen einer Entwöhnung eine Reintubation zu vermeiden. In einer Untersuchung an organtransplantierten Patienten wurde die NIV erfolgreich eingesetzt, um eine möglichst frühzeitige Extubation zu ermöglichen, auch wenn klassische Entwöhnungskriterien noch nicht erreicht waren [22]. Auch diese erfolgversprechenden Ergebnisse sollten erst in größeren Untersuchungen bestätigt werden, bevor hierzu eine entsprechende Empfehlung gegeben werden kann.

Andere Indikationen zur NIV

Neben den erwähnten Indikationen besteht noch eine Fülle weiterer Bereiche, in denen NIV (vorwiegend als „continuous positive airway pressure“, CPAP) als wesentliche Komponente der respiratorischen Therapie eingesetzt werden kann, wie beim Schlafapnoesyndrom oder auch in der perioperativen Phase, etwa im Aufwachraum oder als perioperative Prophylaxe beim pulmonalen Risikopatienten (z. B. bei Adipositas per magna). Erfolgreich ist der Einsatz der NIV auch bei akuter Dekompensation der chronisch erschöpften Atempumpe bei Muskeldystrophie oder Kyphoskoliose [28]. Bei allem Bestreben durch Einsatz von NIV eine endotracheale Intubation zu vermeiden, müssen allerdings die *Kontraindikationen* der NIV beachtet werden (s. auch Tabelle 3). Hierzu zählen insbesondere neurologische Funktionsstörungen, vor allem dann, wenn der Patient aspirationsgefährdet ist. Ebenso besteht eine klare Kontraindikation für NIV beim Atemstillstand oder bei schwerer kardiozirkulatorischer Instabilität. Aus offensichtlichen Gründen verbietet sich die NIV bei schweren Gesichtsverletzungen oder bei Hindernissen im Bereich der oberen Atemwege, die zu einer Intubation oder Tracheotomie zwingen. Eine weitere relative Kontraindikation der NIV ist ihr Einsatz bei Patienten, die nicht in der Lage sind, ausreichend ihr pulmonales Sekret abzuhusten und die deshalb häufig abgesaugt werden müssen. Bei jedem Einsatz der NIV muss die Maske möglichst optimal adaptiert werden, da sonst die NIV mit zunehmender Leckage ineffektiv wird.

Im Spektrum der respiratorischen Therapie der ARI bietet NIV heute so

wesentliche Vorteile, dass sie für die dargelegten Indikationsgebiete unbedingt in die klinische Routine einbezogen werden muss. Im Bereich der Notfall- und Intensivmedizin muss das Augenmerk stärker auf die Vorteile der NIV gerichtet sein. Allzu häufig wird hier intuitiv, ohne vorher eine NIV in Erwägung zu ziehen. Allerdings müssen gerade in diesem Bereich auch die Kontraindikationen der NIV genau beachtet werden.

Voraussetzungen für NIV: Struktur, Ausstattung, Monitoring

Strukturelle Voraussetzungen

Prinzipiell kann die NIV in vier unterschiedlichen Bereichen durchgeführt werden. Das sind die Intensivstation, die Notfallambulanz, die Überwachungsstation und die auf NIV spezialisierte Normalstation. Die Entscheidung darüber, wo die NIV erfolgt, ist abhängig vom Schweregrad der ARI und den örtlichen Gegebenheiten des jeweiligen Krankenhauses. Des Weiteren sind die spezifische Schulung und die Erfahrung des Personals wesentliche strukturelle Voraussetzungen für die Durchführung der NIV. Hierbei wird das Monitoring an die Aufgabe angepasst, d. h. die Ausstattung kann in o.g. absteigender Reihenfolge verringert werden.

Komponenten des Monitorings der NIV bei ARI

Nicht nur bei der invasiven Beatmung, sondern auch bei der NIV ist zur Verlaufsbeurteilung der Beatmungsqualität ein *Monitoring* mehrerer Parameter unverzichtbar. Leider liegen derzeit keine Studien zu dieser Thematik vor, sodass dazu keine spezifischen Literaturangaben herangezogen werden können. Dennoch besteht in Zentren, die auf NIV bei ARI spezialisiert sind, eine langjährige Erfahrung, die hier zusammengefasst wird. Ein wesentlicher Bestandteil des Monitorings ist die *klinische Beobachtung* des Patienten [14, 17, 48]. So sind Grad der Agitation, der Dyspnoe und der Befindlichkeit, sowie Atemfrequenz, Atemanstrengung, Einsatz der Atemhilfsmuskulatur, Atemmuster (paradoxe Atmung) oder Schwitzen durch klinische Beobachtung gut zu erfassen. Mit

einfachen Mitteln und ohne weitere technische Ausstattung können z. B. Dyspnoe [6], Atemfrequenz oder der neurologische Status [21] im Therapieverlauf quantifiziert werden. Dem Vorteil der „quantitativen“ Beobachtung stehen Nachteile, wie Subjektivität der Einschätzung und Diskontinuität der Dokumentation, entgegen.

In diesem Zusammenhang soll auf Scores zur Erfassung der „severity of illness“ (z. B. SAPS [29]); APACHE [25]), des Organbefundes (SOFA [49]) und des therapeutischen Aufwandes (TISS 28 [39]) hingewiesen werden, die ja im weiteren Sinne ebenfalls zum Monitoring gehören. Zum Stellenwert dieser Scores für die Verlaufsbeobachtung der NIV existiert bisher jedoch wenig Erfahrung.

Unverzichtbar ist ein *polyfunktionelles Monitoring* mittels kontinuierlicher Messungen quantifizierbarer Parameter der Vitalfunktion, wie z. B. Atemfrequenz, Tidalvolumen oder Atemminutenvolumen, Pulsoximetrie, EKG und in speziellen Fällen Blutdruck.

Der wesentlichste Bestandteil dieses nicht-invasiven Monitorings ist die pulsoximetrisch ermittelte Sauerstoffsättigung (SaO_2), die gewisse Aussagen zur Effektivität der NIV bzw. zur Oxygenierung zulässt. Die Beurteilung einer formell befriedigenden SaO_2 (z. B. $>88\%$) ist häufig jedoch infolge der gleichzeitigen Gabe von Sauerstoff problematisch, da hierbei pathophysiologisch wichtige Parameter maskiert werden. Vor allem in der Initialphase der NIV muss daher zusätzlich die diskontinuierlich gemessene Blutgasanalyse (BGA) – und hierbei besonders der pH-Wert und das pCO_2 – in die Beurteilung der Beatmungsqualität einbezogen werden. Sowohl die Entscheidung zur endotrachealen Intubation als auch zur Verlegung des Patienten auf die Intensivstation (z. B. bei einem pH-Wert <7.25 – 7.30) hängt wesentlich vom Verlauf der BGA-Werte innerhalb der ersten 1–2 Stunden ab. Optional kann das nicht-invasive Monitoring der NIV durch das transkutan oder endexpiratorisch gemessene CO_2 ergänzt werden.

Entsprechend dem Konzept der NIV bleibt auch das benötigte Monitoring meist nicht-invasiv. Nur in Ausnahmefällen (z. B. bei zunehmender Verschlechterung des pH bzw. der Oxygenierung oder bei Beteiligung extrapulmonaler Organe) kann es sinnvoll

sein, ein *invasives Monitoring* (das meist an die Intensivstation gebunden ist) bei NIV einzusetzen oder nach Umstellung von der IMV auf NIV fortzuführen. Hierzu gehören der arterielle Zugang zur kontinuierlichen Messung des Blutdrucks und gelegentlich auch der Pulmonalkatheter zur Erfassung der Hämodynamik, des Sauerstofftransports und des Hydratationszustandes. Die Messung des Ösophagus- und Magendrucks zur Bestimmung des transdiaphragmalen Drucks bzw. der Interaktion zwischen Patient und Ventilator liefert zwar wichtige Informationen, war bisher aber vor allem wissenschaftlichen Fragestellungen vorbehalten.

Technische Ausstattung – Wahl des Respirators

Abhängig vom Zustand des Patienten, der jeweiligen Lokalität und der Erfahrung des behandelnden Teams werden zur Behandlung des ARI sowohl portable „Heimbeatmungsgeräte“ als auch gängige Respiratoren für die Intensivmedizin eingesetzt. Auch wenn sich beide Respiorkategorien zumindest bzgl. des „Pressure Support Mode“ ähneln, besteht der wesentliche Unterschied im Monitoring. Obligatorisch verfügen die Respiratoren für die Intensivmedizin über die kontinuierliche Messung von FiO_2 , Tidalvolumen, Atemfrequenz und Atemminutenvolumen. Darüber hinaus können Leckagen (via Mund oder Maske) und visualisierte Fluss- und Druckkurven erfasst werden. Insbesondere bei schwergradiger ARI können das Monitoring dieser Parameter und die assoziierten Alarme hilfreich sein. Allerdings führen zu enge Alarmgrenzen, insbesondere durch häufige Leckage-Alarme, zu einer nicht tolerierbaren Belästigung und erschweren den Einsatz von Intensiv-Respiratoren für die NIV. Mittlerweile werden jedoch von der Industrie verbesserte Softwareaufrüstungen für einige Respiratoren angeboten, die spezifisch den Einsatz dieser Respiratoren zur NIV erleichtern sollen.

Die Vorteile der „Heimbeatmungsgeräte“ sind eine bessere Leckagekompensation bei Druckvorgabe, weniger Fehlalarme bei Leckbeatmung, einfachere Bedienbarkeit und nicht zuletzt der niedrigere Preis.

Es muss betont werden, dass einzelne Parameter bei der Überwachung der

NIV nicht isoliert betrachtet werden dürfen. Nur die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Parameter eines individuell ausgerichteten multifunktionalen Monitorings ermöglicht eine adäquate Verlaufsbeobachtung. Das Versagen der NIV ist charakterisiert durch eine Verschlechterung der Blutgase innerhalb der ersten Stunden nach Beginn der Beatmung, durch Veränderung des Atemmusters im Sinne von „*rapid shallow breathing*“ [54] und durch zunehmende hämodynamische Instabilität oder Zeichen der Enzephalopathie. Letztlich kann auch die Inakzeptanz durch den Patienten einen frühzeitigen Abbruch der NIV erforderlich machen.

Vorteile und Möglichkeiten der NIV aus medizinischer und krankenhäusökonomischer Sicht

Ziel der Anwendung von NIV ist es, die endotracheale Intubation und die damit einhergehenden Nachteile und Risiken zu vermeiden. Die Fähigkeit des Patienten zur normalen Nahrungsaufnahme und insbesondere zur verbalen Kommunikation bleibt weitgehend erhalten. Neu auftretende Störungen können ggf. früher erkannt werden. Das Risiko unbeabsichtigter Extubation mit der Konsequenz einer notfallmäßigen Reintubation und einem erhöhten Aspirationsrisiko besteht nicht. Die positiven Auswirkungen eines Verzichtes auf endotracheale Intubation auf Wohlbefinden und Sicherheit des Patienten, auf immunologische Kompetenz (durch geringeren Bedarf an Sedativa) und Morbidität oder sogar auf Letalität sind z. Z. schon für einige Patientenkollektive nachgewiesen [19]. Als Hauptursache der verbesserten Überlebensrate unter NIV wird eine verminderte Inzidenz potentiell vital bedrohlicher beatmungsassoziiertes (nosokomialer) Pneumonien (NP) angesehen [1, 26]. Möglicherweise könnte auch die sitzende Körperhaltung bei der NIV einen positiven Beitrag leisten (etwa durch verbesserte Rekrutierung von Lungarealen).

Physiologische Effekte der NIV

Bei den physiologischen Effekten ist eine Differenzierung in Auswirkungen auf die oberen Luftwege, den pulmonalen Gasaustausch, die Hämodynamik sowie

auf die Atemarbeit sinnvoll. Bei technisch optimaler Durchführung (ausreichend hohem Gasfluss, minimale Leckage, PEEP ca. 8–10 mbar) kommt es auch bei geöffnetem Mund zu einer „pneumatischen“ Schienung („Stenting“) mit Aufbau eines konstant positiven Druckes in den oberen Luftwegen im Sinne eines externen PEEP (PEEP_e) [35]. Die Wiederherstellung eines adäquaten Atemzugvolumens mit Reduktion des intrapulmonalen R-L-Shunts verbessert die arteriellen Oxygenierung innerhalb von 30 bis maximal 120 min [16, 23, 50]. Bei Herzinsuffizienz kann die Reduktion von kardialer Vor- und Nachlast zusammen mit der Abnahme des transmuralen Druckgradienten das Herzzeitvolumen steigern [7, 16]. In Verbindung mit einem verbesserten pulmonalen Gasaustausch kann dies zu einer (u. U. prognostisch relevanten) Verbesserung des Sauerstoffangebotes bei Abnahme der Herzfrequenz führen. Bei gleichzeitig vorliegendem Vorhofflimmern wurde jedoch unter CPAP eine Beeinträchtigung der Hämodynamik beschrieben [32]. Die erhöhte Atemarbeit infolge eines intrinsischen PEEP (PEEP_i) lässt sich durch einen adäquaten externen PEEP_e signifikant reduzieren [30]. Bei muskulär bedingter Ateminsuffizienz unterschiedlicher Genese sollte die Atemarbeit durch nichtinvasive Beatmung intermittierend möglichst vollständig übernommen werden, damit sich die Atemmuskulatur erholt [24].

Krankenhäusökonomische Aspekte der NIV

Aus ökonomischer Sicht sind mehrere Aspekte bedeutsam. Nicht-invasive Verfahren der Atmungsunterstützung können – abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten – auch außerhalb der eigentlichen Intensivstation (z. B. im Notfallbereich, in Intermediate Care-Einheiten) eingesetzt werden. Hierdurch lässt sich die meist knappe Kapazität der Intensivbetten ausweiten. Auch die frühere Extubation in der Weaningphase bzw. das Vermeiden einer (Re-)Intubation führt in die gleiche Richtung [4, 10, 22]. Der personelle Aufwand ist bei geschultem Personal nur in den ersten Stunden vergleichbar mit invasiven Beatmungsverfahren, danach aber deutlich geringer [42]. Für nicht geschultes Personal liegen hierzu keine Daten vor. Der appa-

rative Investitionsaufwand ist gering, wobei jedoch ein beträchtlicher Aufwand in die Schulung des Teams investiert werden muss. In Anbetracht neuer Vergütungsregelungen (DRG) ist die Implementierung von NIV auch aus krankenhäusökonomischer Sicht sinnvoll.

NIV-Risiken und Grenzen, Eskalations-Deeskalations-Algorithmus

In den vorherigen Abschnitten wurden die Vorteile und die Indikationen zur NIV bei Patienten mit akuter Ateminsuffizienz beschrieben. Hier soll nun dargestellt werden, welche Risiken und Grenzen der Methode beachtet werden müssen.

Kontraindikationen der Anwendung von NIV

Die z. Z. allgemein akzeptierten Kontraindikationen sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Es muss allerdings betont werden, dass keine spezifischen Studien existieren, mit denen diese Kontraindikationen überprüft wurden [2]. Die Kontraindikationen sind zum Teil aus Studien übernommen worden, bei denen diese als Ausschlusskriterien gewählt wurden. Dabei ist aber zu bedenken, dass bestimmte Begleiterkrankungen nur deswegen ausgeschlossen wurden, um ein möglichst homogenes Studiendesign zu erstellen. So wurde z. B. in der Studie von Brochard et al. [9] Patienten mit Lungenödem, Kyphoskoliose und neuromuskulären Erkrankungen ausgeschlossen. Dies sind allerdings nun gerade Erkrankungen, bei denen eine Ateminsuffizienz mit NIV bekanntermaßen effizient behandelt werden kann. In der Studie von Moretti et al. [40] bei Patienten mit akuter hyperkapnischer Ateminsuffizienz bei COPD wurden Begleiterkrankungen wie Pneumonie, Herzinsuffizienz, akutes Nierenversagen und sogar Koma und Sepsis für die Indikation NIV akzeptiert. In dieser Studie ergab sich, dass nach anfangs erfolgreicher NIV nur die metabolischen Begleiterkrankungen (vor allem Hyperglykämie) sowie die Anzahl der Begleiterkrankungen bei Aufnahme zur Krankenhäusmortalität signifikant korreliert waren. Dagegen waren z. B. Herzrhythmusstörungen, die eine schnelle Intervention notwendig

Tabelle 1

**Kontraindikationen gegen NIV.
(Nach [2, 5, 13])**

Koma oder nicht beherrschbarer Verwirrheitszustand (wenn nicht durch Hyperkapnie bedingt)
Schwere Kooperationsprobleme
Akut lebensbedrohliche Hypoxie
Herz- oder Atemstillstand
Hämodynamische Instabilität
Erhöhte Gefahr von Regurgitation und Aspiration (Schluckstörung, Ileus, GI-Blutung, kürzliche abdominale Operation)
Hindernisse in den oberen Atemwegen (Tumor, Gesichtsverletzung)
Bronchoskopisch nicht korrigierbare Sekretretention

machten, ebenso wie Tachykardien bei Linksherzinsuffizienz keine unabhängigen prognostischen Faktoren.

Erfolgchancen der NIV

Bei Betrachtung aller wesentlichen Studien kommt man zu einer Erfolgsrate der NIV bei Patienten mit akuter Ateminsuffizienz zwischen 50–93% [2, 31]. Die großen Unterschiede in dieser Erfolgsrate sind vermutlich durch die unterschiedlichen Schweregrade bei Aufnahme bedingt. Es fragt sich daher, ob Kriterien herauszuarbeiten sind, die einen Misserfolg vorhersagen lassen.

Von den möglichen wesentlichen prognostischen Faktoren, wie Lungenfunktion, Ursachen der Exazerbation (z. B. Pneumonie), Alter, schwere der Erkrankungen usw., zeigt sich, dass am ehesten der pH-Wert bei Aufnahme ein prognostischer Faktor ist; seine Sensitivität beträgt 97% (d. h. in 97% war die Vorhersage richtig), seine Spezifität 71% (d. h. in 71% war die Zuordnung richtig) [1]. Obwohl die NIV bei Patienten mit niedrigem pH-Wert weniger erfolgreich ist, sollten diese dennoch nicht von einem Versuch ausgeschlossen werden, da die Vorteile der NIV gegenüber der Intubation wesentlich größer sind.

Somit sollte bei allen Patienten mit akuter Ateminsuffizienz bei fehlenden Kontraindikationen der Einsatz von NIV zumindest versucht werden. Es gibt nur

ein prinzipielles Argument gegen den initialen Einsatz des Verfahrens: Durch Verzögerung der Intubation könnte sich die Prognose verschlechtern. Diese Argumentation stützt sich auf eine Arbeit von Wood et al. [52], in der gezeigt wurde, dass nach Intubation mehr Patienten verstarben, die zuvor mit NIV behandelt wurden, als Patienten, die nur konventionell behandelt wurden. Dieser Unterschied bezog sich auf nur 4 Patienten, der Unterschied war nicht signifikant und die Annahme, dass dies Folge einer Verzögerung der Intubation war, ist spekulativ.

Verlaufsbeobachtung während NIV

Für den Verlauf unter der NIV ist die Mitarbeit des Patienten ein wesentlicher Faktor für den Erfolg. Weitere Faktoren sind die Besserung der Blutgase, speziell des pH-Wertes, sowie der Abfall der Atemfrequenz. Somit sollten unter NIV zumindest in der instabilen Phase stündlich die Erfolgskriterien (Tabelle 2, Punkt a, b) und Abbruchkriterien (Tabelle 3, Punkt a) überprüft werden.

Selbst bei initial erfolgreicher NIV kann es im Verlauf (d. h. nach über 48 Stunden) zu einem späteren Therapieversagen kommen [41]. Tritt ein solches Spätversagen („late failure“, definiert nach Tabelle 3, Punkt b) auf, so ist die Krankenhausletalität sehr hoch: Bei anschließender Verlängerung der NIV über einen größeren Anteil des Tages verstarben 92% der Patienten, bei anschließender Intubation starben 53% der Patienten.

Eskalations-/Deeskalations-Algorithmus

Diese Daten führen zu dem Eskalations-/Deeskalations-Algorithmus, der in Abb. 1 in sehr grober Anlehnung an Ambrosino und Simonds [2] dargestellt ist. Bei akuter Ateminsuffizienz sollte nach der konventionellen Behandlung möglichst früh mit NIV begonnen werden. Auch die Daten der Plant-Studie [44] sprechen dafür, dass NIV bei einem pH von mehr als 7,3 sehr effektiv ist, sodass man folgern kann, dass NIV bereits bei einer moderaten respiratorischen Insuffizienz mit einem pH von $>7,30$ und Anstieg des pCO_2 begonnen werden sollte [8]. Die NIV wäre nur zu unterlassen, wenn Kontraindikationen bestehen und

Tabelle 2

Erfolgskriterien**a) Erfolgskriterien (nach [5, 13])**

Zunahme der alveolären Ventilation (Abnahme des p_aCO_2)
Zunahme der Oxygenierung ($SaO_2 > 90\%$)
Entlastung der Atempumpe (Abnahme von Atem- und Herzfrequenz)
Subjektive Besserung

b) Erfolgskriterien „initial success“ (nach [41])

$pH \geq 7,35$
 p_aCO_2 -Abfall $> 15-20\%$
 $SaO_2 \geq 90\%$
 f_R -Abfall $\geq 20\%$
Normale Bewusstseinslage
Subjektive Besserung

eine Intubation sollte erfolgen, wenn Intubationskriterien vorliegen, wie sie in Tabelle 4 nach Brochard et al. [9] aufgeführt sind. Nach Beginn mit NIV sollten stündlich die in den Tabellen 2 und 3 bezeichneten Erfolgs- und Abbruchkriterien beobachtet werden. Nach zunächst erfolgreicher NIV kann es zu einem Spätversagen kommen, der in Tabelle 3, Punkt b, definiert ist. Wegen der extrem

Tabelle 3

Abbruchkriterien**a) Abbruchkriterien (nach [5, 13])**

Trotz O_2 -Insufflation ($FiO_2 > 0,5$) $SaO_2 < 85\%$
Anstieg des p_aCO_2 über Ausgangswert mit Abfall des pH
Schwere Kooperationsprobleme
Progrediente Bewusstseinsverschlechterung
Nicht beherrschbare Aerophagie
Nicht beherrschbare Maskenprobleme (Hautschäden)
Schwere Aspiration

b) Abbruchkriterien „late failure“ (>48 h) (nach [41])**Während NIV über mindestens 6 h/die:**

Akuter oder progredienter Abfall des pH auf $\leq 7,34$ mit Anstieg des p_aCO_2 um $> 15-20\%$
Dyspnoe
Bewusstseinsintrübung

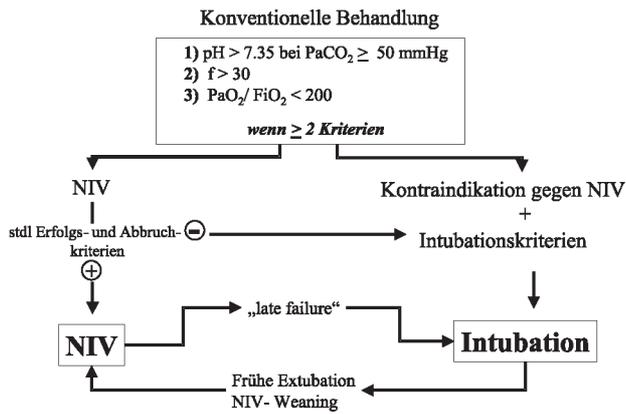


Abb. 1 ◀ NIV bei akuter Ateminsuffizienz

schlechten Prognose eines solchen Spätversagens sollte sicherheitshalber dann die Intubation vorgezogen werden. Nach erfolgter Intubation sollten aber wieder die Vorteile von NIV berücksichtigt werden: Wenn keine Kontraindikationen bestehen, der Patient kooperationsfähig ist und über den Tubus mehr als 30 Minuten spontan atmen kann, ist eine frühe Extubation zu erwägen, sodass evtl. das weitere Weaning mit NIV fortgeführt werden kann [41].

Tipps, Tricks und Grenzen

Die nicht-invasive Beatmung (NIV) hat sich in den letzten Jahren in vielen Bereichen als eine Alternative zur konventionellen Beatmung durchgesetzt [4]. Mit dem Übergang der Methode aus erfahrenen Zentren in die klinische Praxis hat sich aber eine Reihe von Problemen ergeben, die mit unterschiedlichen Voraussetzungen und Anwendungsbedingungen der NIV gegenüber der klassischen Beatmung zusammenhängen [52]. Deshalb hat sich die NIV im Alltag noch nicht so weit durchgesetzt, wie sie es verdient hätte [11]. Im Folgenden sollen einige der Kernprobleme der NIV aufgezeigt und wichtige Fehlerquellen in der Anwendung benannt werden.

Wenn ein Patient mit akuter Ateminsuffizienz sich unter nicht-invasiver Beatmung nicht stabilisiert, muss die Vorgehensweise anhand von drei Grundfragen kritisch überprüft werden (Abb. 2):

- Stimmt die Indikation?
- Besteht eine Fehlfunktion durch falschen Aufbau oder falsches Material?
- Ist der Beatmungsmodus und die Einstellung des Beatmungsgerätes richtig gewählt?

Indikationen

Geeignet für NIV sind (s. auch Abschnitt „Stellenwert der NIV“):

- Kardial bedingtes Lungenödem,
- akute Dekompensation bei chronisch erschöpfter Atempumpe (COPD, Muskeldystrophie, Kyphoskoliose),
- Weaning failure (auch bei postoperativen Patienten mit Sedativaüberhang).

In Einzelfällen auch Patienten mit

- Pneumonie oder
- ARI (wenn die zur Überwindung der Hypoxie nötigen end-expiratorischen Drücke 10 cm H₂O nicht überschreiten).

Bei der Indikation Pneumonie/ARI muss allerdings berücksichtigt werden, dass randomisierte Studien sich entweder auf COPD-Patienten mit Pneumonie oder auf immunsupprimierte Patienten mit pulmonalen Infiltraten (ohne Organversagen) beziehen. Zu anderen Patientengruppen, insbesondere zu Patienten ohne pulmonale Vorschädigung fehlen Daten. Bei Patienten nach großen operativen Eingriffen (Gefäßchirurgie, Abdominaleingriffe, Operationen an der extrakorporalen Zirkulation) konnte gezeigt werden, dass mit einem CPAP-Druck von 8–10 cmH₂O eine Reintubation vermieden werden kann [23]. Daten zu NIV bei Hyperkapnie liegen in dieser Patientengruppe jedoch nicht vor.

Ungeeignet für NIV sind in der Regel:

- Patienten mit fehlenden Schluckreflexen bzw. mit chronischer Aspiration,
- agitierte und unkooperative Patienten,
- Patienten mit starker endobronchialer Schleimsekretion, die sich durch mehrmalige Bronchoskopie nicht beseitigen lässt,
- Patienten im Kreislaufschock, der nicht durch niedrigdosierte Katecholamine zu therapieren ist,
- Patienten mit malignen Herzrhythmusstörungen, die zur Kardioversion/Defibrillation zwingen,
- Sepsispatienten [51].

Umstritten ist die Frage, ob Patienten mit Herzinfarkt und Lungenödem nicht invasiv beatmet werden sollen. Im kardiogenen Schock oder für den Transport zur Koronar-Intervention sollte die Intubation bevorzugt werden!

Bei ängstlichen oder schwer durch Luftnot beeinträchtigte Patienten kann eine Sedierung mit Morphin 5–10 mg sc. oder i.v. die Anwendung der NIV effektiver machen. Ggf. kann Propofol in niedriger Dosierung – sofern der Patient ansprechbar bleibt – ebenfalls hilfreich sein. Benzodiazepine sollten wegen ihrer muskelrelaxierenden Wirkkomponente vermieden werden, sofern nicht kontrolliert beatmet wird.

Fehlfunktionen

Für die nicht-invasive Beatmung kann man prinzipiell jedes Beatmungsgerät benutzen. Allerdings haben die klassischen Respiratoren für die Intensivmedizin den Nachteil, dass das Schlauchsystem recht schwer ist und somit die Maske leicht verrutscht. Diese Respiratoren besitzen keinen Leckageausgleich. Da immer kleine Maskenleckagen vorliegen, vermindert sich dann das Zugvolumen entsprechend. Dadurch kommt es zu einer Vielzahl an Fehlalarmen. Für die Heimbeatmung entwickelte Beatmungsgeräte haben zwar nur wenig



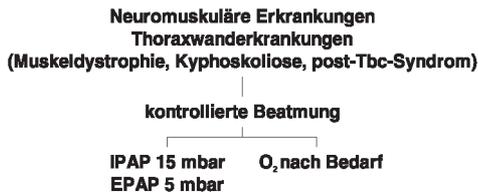


Abb. 3 ◀ **Empfehlung für die Maschineneinstellung bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen (ohne COPD)**

Möglichkeiten des Monitorings, für NIV sind sie jedoch gut geeignet und den üblichen Respiratoren vorzuziehen.

Häufig wird durch unerfahrene Anwender das Ausatemventil vergessen. Insbesondere die neueren Ausatemventile haben einen „geglätteten“ Luftabstrom, sodass sie als solche gar nicht wahrgenommen werden. Ihr Fehlen fällt dann auch nicht auf.

Zwischen Ausatemventil und Maske darf der ohnehin große Totraum nicht durch eine sog. „Gänsegurgel“ weiter vergrößert werden. Manche Masken haben – wenn sie sonst als CPAP-Masken verwandt werden – oft Leckagelöcher als Ersatz für ein Ausatemventil. Viele Maskentypen sind aber auch ohne diese Leckagelöcher erhältlich, meistens erkennbar an der blauen Einfärbung des Maskenmaterials.

Die Wahl der richtigen Maske ist eine weitere Hürde. Ein Verschließen des Mundes durch eine Hilfsperson kann bei bestimmten Patienten (z. B. bei neuromuskulärer Erkrankung) hilfreich sein. In Kliniken mit großer Erfahrung gibt es sogar Sitzwachen, die jederzeit die entsprechende Hilfestellung leisten. Im Alltag, vor allem auf Intensivstationen ist jedoch häufig die Hilfestellung unzurei-

chend, der Patient gerät in Panik. Deshalb sollten hier Gesichtsmasken bevorzugt werden. Wenn der Patient sich bereits etwas erholt hat und über die Nase wieder ausreichend Luft bekommt, kann auf eine Nasenmaske gewechselt werden. Bei Patienten mit primär nur leichter Dyspnoe und guter Kooperationsfähigkeit kann der Versuch gemacht werden, sofort mit einer Nasenmaske zu beginnen.

Wenn die Maske zu groß ist, kann eine relevante Leckage am Maskenrand entstehen, die zu Augenreizung und insuffizienter Beatmung führt. Oft wird bei zu großer Maske mit Leckage die Maske stärker fixiert, was leicht Druckstellen und eine abnehmende Compliance des Patienten verursacht.

Beatmungsmodus

Theoretisch führt eine vollständige Entlastung der Atemmuskelpumpe unter kontrollierter Beatmung zu einer effektiveren Erholung der Muskulatur und einer schnelleren Verbesserung der Blutgase als eine assistierte Beatmung. Praktisch konnte das aber nicht sicher bewiesen werden [36]. Volumenkontrollierte und druckkontrollierte Systeme waren

gleich effektiv [47]. Allerdings muss man sagen, dass die Triggereigenschaften und die Flussmuster der assistierten Systeme zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht in dem Maße entwickelt waren wie heute.

Obwohl keine beweisenden Studien vorliegen, kann man generell folgende Empfehlung abgeben:

Bei Patienten mit neuromuskulären und Thoraxwand-Erkrankungen sollte kontrolliert beatmet werden, was meist problemlos möglich ist (Abb. 3). Bei Patienten mit COPD ist ein kontrollierter Modus günstig, wenn er vom Patienten toleriert wird. Bei Schwierigkeiten der Atemsynchronisation sollte PSV bevorzugt werden. Bei Lungenödem, Pneumonie und ARDS spielen neben der Entlastung der Atempumpe andere Wirkmechanismen eine Rolle, hier empfiehlt es sich primär assistiert zu ventilieren (Abb. 4).

Einstellung des Respirators

Neben der Sauerstoffzufuhr muss bei dem Beatmungsgerät in der Regel ein in- und expiratorisches Druckniveau, die Atemfrequenz und der Flow bzw. die Anstiegssteilheit gewählt werden (Abb. 2).

Bei der Druckwahl ist zu beachten, dass der expiratorische Druck nicht zu hoch gewählt wird, da bei Drücken über 6 mbar die Ausatmung als schwer empfunden wird. Inspiratorisch sollte der Druck innerhalb der ersten 15–30 min beginnend bei 10–12 mbar schrittweise gesteigert werden (Abb. 3, 4).

„NIV-unerfahrene“ Patienten haben oft bei den ersten 2–5 Atemzügen subjektiv das Gefühl, dass ihre Dyspnoe weiter gesteigert wird. Erst danach setzt auch subjektiv das Gefühl der Verbesserung ein. In diesen ersten Minuten muss die Anwendung von NIV konsequent fortgeführt werden. Das Druckniveau kann dann bis auf 20–30 mbar gesteigert

Tabelle 4

Intubationskriterien (Nach [9])

Hauptkriterien	Nebenkriterien
Atemstillstand	$f_R > 35$, höher als bei Aufnahme
Atempausen mit Bewusstseinsverlust oder Schnappatmung	$pH < 7.30$, geringer als bei Aufnahme
Psychomotorische Agitation mit der Notwendigkeit zur Sedierung	$p_aO_2 < 45$ mmHg trotz O ₂ -Gabe
Herzfrequenz < 50 /min	Progrediente Bewusstseinsbeeinträchtigung
Hämodynamische Instabilität mit $RR_{\text{sys}} < 70$ mmHg	

Intubation bei einem Hauptkriterium

Trotz 1 h medikamentöser Therapie + NIV: Intubation bei Vorliegen von 2 Nebenkriterien

Treten Nebenkriterien nur beim Aussetzen von NIV auf, kann NIV zunächst weitergeführt werden

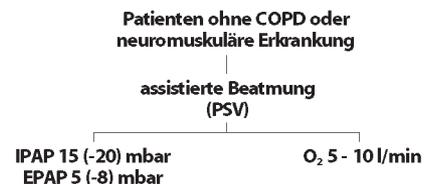


Abb. 4 ▲ **Empfehlung für die Maschineneinstellung bei Patienten ohne COPD und ohne neuromuskuläre Erkrankung (d. h. Lungenödem, Pneumonie, ARDS)**

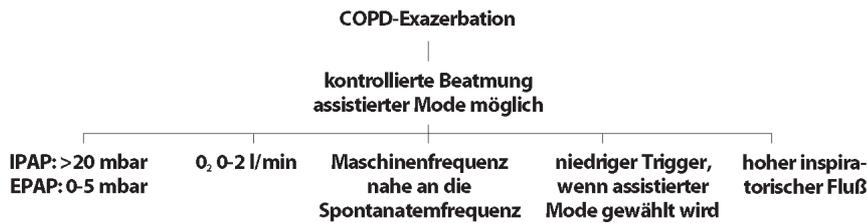


Abb.5 ▲ Empfehlung für die Maschineneinstellung bei COPD

werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass der Druck gerade so hoch wie nötig gewählt wird. Das ist daran zu erkennen, dass der Patient ruhiger atmet, die Atemhilfsmuskulatur entspannt und die Einziehungen zurückgehen. Oft schlafen die sehr erschöpften Patienten unter NIV rasch ein, wenn die Einstellung gut gewählt ist.

Am schwierigsten ist die richtige Einstellung bei Patienten mit einer COPD-Exazerbation (Abb. 5). Entgegen den Grundregeln der invasiven Beatmung (wenig Frequenz, geringer inspiratorischer Fluss zur Vermeidung von Überblähung) kommt es hier auf ein ausreichendes Atemminutenvolumen an. Es muss immer bedacht werden, dass der eingestellte und damit an der Maske erzeugte Druck nicht dem intratrachealen und schon gar nicht dem intraalveolären Druck entspricht.

Durch die Obstruktion kommt es zu erheblichen Druckabfällen. Wählt man beim COPD-Patienten initial zu kleine Drücke (der pCO₂ steigt dann weiter an), bleibt eine alveoläre Hypoventilation bestehen. Der Patient wird unruhig, tachypnoeisch, verkleinert sein Zugvolumen weiter und die NIV muss abgebrochen werden. Unserer Erfahrung nach benötigt man in der Initiierungsphase bei Exazerbation einer COPD Drücke von 25 cmH₂O, um Atemminutenvolumina von 15–20 l/min zu erzeugen.

Die Atemfrequenz sollte – wenn der Patient maximal entlastet werden soll – möglichst nahe an der tatsächlichen Atemfrequenz des Patienten gewählt werden, die bei akuter Ateminsuffizienz meist zwischen 25 und 35/min liegt. Der

Patient darf dabei nicht – auch nicht zeitweise – asynchron zur Beatmungsmaschine atmen. Es ist in diesem Falle eine assistierte Beatmung (im „Pressure Support Mode“) mit hoher Druckunterstützung und reiner Triggerung der Spontanatmung vorzuziehen. Die einzustellende Frequenz ist dann eine Mindestatemfrequenz, die der Patient nicht unterschreiten kann.

Der wichtigste Faktor für das subjektive Dyspnoeempfinden ist die Anstiegssteilheit des Atemflusses in der frühen Inspiration. So kann bei formal ausreichendem Atemzugvolumen starke Dyspnoe empfunden werden, wenn zu Beginn der Inspiration ein zu geringer Atemfluss besteht. Dem muss durch ein entsprechend steil gewähltes Flussprofil vorgebeugt werden.

Die Fluss- und Triggercharakteristik verschiedener Respiratoren ist unterschiedlich. Die Geräte liefern auch nicht zuverlässig konstant das gleiche Atemzugvolumen [33]. So ist es durchaus möglich, dass ein Patient mit einem Gerät nicht zurechtkommt, von einem anderen jedoch profitiert. Gerade bei COPD-Patienten macht es Sinn, den Respirator zu wechseln, bevor man ein Therapieversagen unterstellt.

Wenn NIV trotz aller Versuche nicht zum Erfolg führt, darf man nicht vergessen, dass ein einmaliges Versagen nicht heißt, dass weitere Versuche bei dem Patienten fehlschlagen werden. Bevor der Patient durch wiederholte Versuche gefährdet wird, sollte statt dessen eine rechtzeitige Intubation erfolgen. Die NIV kann später immer noch als Weaning-Methode nach frühzeitiger Extubation eingesetzt werden, wenn die Grunderkrankung unter invasiver Beatmung effektiv behandelt worden ist und der Patient stabilisiert ist [42].

Literatur

1. Ambrosino N (1996) Noninvasive mechanical ventilation in acute respiratory failure. *Eur Respir J* 9:795–807
2. Ambrosino N, Simonds AK (2000) Mechanical ventilation. In: Donner CF, Decramer M (eds) Pulmonary rehabilitation. *European Respiratory Monograph Vol 5*, Monograph 13:155–176
3. Antonelli M, Conti G, Bufi M, Costa MG, Lappa A, Rocco M, Gasparetto A, Meduri GU (2000) Noninvasive ventilation for treatment of acute respiratory failure in patients undergoing solid organ transplantation: a randomized trial. *JAMA* 283:235–241
4. Antonelli M, Conti G, Rocco M et al. (1998) A comparison of noninvasive positive-pressure ventilation and conventional mechanical ventilation in patients with acute respiratory failure. *N Engl J Med* 339:429–435
5. Arbeitsgruppe Heimbeatmung und Respiratorerwöhnung e.V. (nicht publiziert) Empfehlungen zur nichtinvasiven Beatmung in der Intensivmedizin
6. Bott J, Carroll MP, Conway JH et al. (1993) Randomised controlled trial of nasal ventilation in acute ventilatory failure due to chronic obstructive airways disease. *Lancet* 341 (8860):1555–1557
7. Bradley TD, Holloway RM, McLaughlin PR, Ross BL, Walters J, Liu PP (1992) Cardiac output response to continuous positive airway pressure in congestive heart failure. *Am Rev Respir Dis* 145:377–382
8. Brochard L (2000) Non-invasive ventilation for acute exacerbations of COPD: a new standard of care. *Thorax* 55:817–818
9. Brochard L, Mancebo J, Wysocki M et al. (1995) Noninvasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 333:817–822
10. Confalonieri M, Potena A, Carbone G, Porta RD, Tolley EA, Meduri UG (1999) Acute respiratory failure in patients with severe community-acquired pneumonia. A prospective randomized evaluation of noninvasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 160:1585–1591
11. Esteban A, Anzueto A, Alia I and the Mechanical Ventilation International Study Group (2000) How is mechanical ventilation employed in the intensive care unit? *Am J Respir Crit Care Med* 161:1450–1458
12. Girault C, Daudenthun I, Chevron V, Tamion F, Leroy J, Bonmarchand G (1999) Noninvasive ventilation as a systematic extubation and weaning technique in acute-on-chronic respiratory failure: a prospective, randomized controlled study. *Am J Respir Crit Care Med* 160:86–92

13. Hamm M, Schulz A, Kloche M, Niedermeyer J, Meissner E (1999) Nichtinvasive Beatmung bei akuter respiratorischer Insuffizienz. *Intensivmedizin* 36:156–162
14. Hess D (1990) Respiratory care devices and techniques through the years. *Respir Care* 35:1234–1237
15. Hilbert G, Gruson D, Vargas F et al. (2001) Noninvasive ventilation in immunosuppressed patients with pulmonary infiltrates, fever, and acute respiratory failure. *N Engl J Med* 344:481–487
16. Hoffmann B, Welte T (1999) The use of non-invasive pressure support ventilation for severe respiratory insufficiency due to pulmonary oedema. *Intensive Care Med* 25:15–20
17. Hudson LD (1985) Design of the intensive care unit from a monitoring point of view. *Respir Care* 30:549–559
18. International consensus conferences in intensive care medicine, American Thoracic Society, European Society of Intensive Care Medicine, Société de Réanimation Langue Française (1999) Ventilator-associated lung injury in ARDS. *Intensive Care Med* 25:1444–1452
19. Keenan SP (1997) Effect of noninvasive positive pressure ventilation on mortality in patients admitted with acute respiratory failure: a meta-analysis. *Crit Care Med* 25:1685–1692
20. Keenan SP (1998) An evidence-based approach to noninvasive ventilation in acute respiratory failure. *Crit Care Clin* 14:359–372
21. Kelly BJ, Matthay MA (1993) Prevalence and severity of neurologic dysfunction in critically ill patients. Influence on need for continued mechanical ventilation. *Chest* 104:1818–1824
22. Kilger E, Briegel J, Haller M et al. (1999) Effects of noninvasive positive pressure ventilatory support in non-COPD patients with acute respiratory insufficiency after early extubation. *Intensive Care Med* 25: 1374–1380
23. Kindgen-Milles D, Buhl R, Gabriel A, Böhner H, Müller E (2000) Nasal continuous positive airway pressure: a method to avoid endotracheal reintubation in postoperative high-risk patients with severe nonhypercapnic oxygenation failure. *Chest* 117:1106–1111
24. Kleopa KA, Sherman M, Neal B, Romano GJ, Heiman-Patterson T (1999) Bipap improves survival and rate of pulmonary function decline in patients with ALS. *J Neurol Sci* 164:82–88
25. Knaus W, Draper E, Wagner DP, Zimmerman JE (1985) APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med* 13:818–829
26. Kollef MH (1999) Avoidance of tracheal intubation as a strategy to prevent ventilator-associated pneumonia. *Intensive Care Med* 25:553–555
27. Kramer N (1995) Randomized, prospective trial of noninvasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 151:1799–1806
28. Laier-Groeneveld G, Hüttemann U, Crie CP (1992) Nasal inspiratory positive pressure ventilation. *Eur Respir Rev* 2:389–397
29. Le Gall JR, Lemeshow S, Saulnier F (1993) A new simplified acute physiology score (SAPS II) based on a European/North American Multicenter Study. *JAMA* 270:2957–2963
30. Lenique F, Habis M, Lofaso F, Dubois RJ, Harf A, Brochard L (1997) Ventilatory and hemodynamic effects of continuous positive airway pressure in left heart failure. *Am J Respir Crit Care Med* 155:500–505
31. Lightowler JV, Elliott MW (2000) Predicting the outcome from NIV for acute exacerbations of COPD. *Thorax* 55:815–816
32. Liston R, Deegan PC, McCreery C, Costello R, Maurer B, McNicholas WT (1995) Haemodynamic effects of nasal continuous positive airway pressure in severe congestive heart failure. *Eur Respir J* 8:430–435
33. Lofaso F, Fodil R, Lorino H, Leroux K, Quintel A, Leroy A, Harf A (2000) Inaccuracy of tidal volume delivered by home mechanical ventilators. *Eur Respir J* 15:338–341
34. Masip J, Betbese AJ, Paez J et al. (2000) Non-invasive pressure support ventilation versus conventional oxygen therapy in acute cardiogenic pulmonary oedema. *Lancet* 356:2126–2132
35. Mathru M, Esch O, Lang J, Herbert ME, Chalijub G, Goodacre B, van Sonnenberg E (1996) Magnetic resonance imaging of the upper airway. Effects of propofol anesthesia and nasal continuous positive airway pressure in humans. *Anesthesiology* 84:273–279
36. Meecham-Jones DJ, Wedzicha JA (1993) Comparison of pressure and volume preset nasal ventilator systems in stable chronic respiratory failure. *Eur Respir J* 6:1060–1064
37. Meduri GU (1989) Noninvasive face mask ventilation in patients with acute respiratory failure. *Chest* 95:865–870
38. Mehta S, Jay GD, Woolard RH et al. (1997) Randomized prospective trial of bilevel versus continuous positive airway pressure in acute pulmonary edema. *Crit Care Med* 25:620–628
39. Miranda DR, de Rijk A, Schaufeli W (1996) Simplified therapeutic intervention scoring system: the TISS–28 items – results from a multicenter study. *Crit Care Med* 24:64–73
40. Moretti M, Cilione C, Tampieri A, Fracchia C, Marchioni A, Nava S (2000) Incidence and causes of non-invasive mechanical ventilation failure after initial success. *Thorax* 55:819–825
41. Nava S, Ambrosino N, Clini E et al. (1998) Noninvasive mechanical ventilation in the weaning of patients with respiratory failure due to chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med* 128:721–728
42. Nava S, Evangelisti I, Rampulla C, Compagnoni ML, Fracchia C, Rubini F (1997) Human and financial costs of noninvasive mechanical ventilation in patients affected by COPD and acute respiratory failure. *Chest* 111:1631–1638
43. Network ARDS (2000) Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 342:1301–1308
44. Plant P, Owen J, Elliott M (2000) A multicentre randomised controlled trial of early use of non-invasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet* 355:1931–1935
45. Rocker G, MacKenzie MG, Williams B, Logan PM (1999) Noninvasive positive pressure ventilation: successful outcome in patients with acute lung injury/ARDS. *Chest* 115:173–177
46. Rusterholtz T, Kempf J, Berton C et al. (1999) Noninvasive pressure support ventilation (NIPSV) with face mask in patients with acute cardiogenic pulmonary edema (ACPE). *Intensive Care Med* 25:21–28
47. Schönhofer B, Sonneborn M, Haidl P, Böhner H, Köhler D (1997) Comparison of two different modes for noninvasive mechanical ventilation in chronic respiratory failure: volume versus pressure controlled device. *Eur Respir J* 10:184–191
48. Tobin MJ (1990) Respiratory monitoring. *JAMA* 264:244–251
49. Vincent JL, Moreno R, Takala J et al. (1996) The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure. *Intensive Care Med* 22:707–710
50. Voelker R (2000) The World in Medicine: Noninvasive Ventilation. *JAMA* 283:2379
51. Welte T, Hoffmann B (1999) Nicht-invasive Beatmung bei kritisch Kranken. 1. Wirkungsmechanismus und wissenschaftlicher Kenntnisstand. *DMW* 124:1385–1388
52. Wood KA, Lewis L, Harz B von, Kollef MH (1998) The use of noninvasive positive pressure ventilation in the emergency department. *Chest* 113:1339–1946
53. Wysocki M (1995) Noninvasive pressure support ventilation in patients with acute respiratory failure. A randomized comparison with conventional therapy. *Chest* 107:761–768
54. Yang KL, Tobin MJ (1991) A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 324:1445–1450