

Notfall Rettungsmed 2017 · 20:641–648
<https://doi.org/10.1007/s10049-017-0368-5>
 Online publiziert: 2. Oktober 2017
 © Springer Medizin Verlag GmbH 2017

Redaktion

H. Dormann, Fürth
 T. Nicolai, München



H. Fuchs¹ · D. Klotz¹ · T. Nicolai²

¹ Neonatologie und päd. Intensivmedizin, Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin, Universitätsklinikum Freiburg – Medizinische Fakultät, Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland

² von Hauerndes Kinderspital München, Ludwig-Maximilians Universität München, München, Deutschland

Nichtinvasive Beatmung bei Kindern mit akuter respiratorischer Insuffizienz

Pathophysiologie des akuten Atemversagens im Kindesalter

Das respiratorische Versagen ist die häufigste Indikation für eine nichtelektive Aufnahme auf die pädiatrische Intensivstation [17, 29]. Die obstruktive Bronchitis und die Bronchiolitis des sehr kleinen Säuglings im Rahmen viraler Atemwegsinfektionen stellen sich in großen Erhebungen als die häufigste Ursache für ein Atemversagen dar [17]. Oft kann das „respiratory syncytial virus“ (RSV) nachgewiesen werden. Aufgrund direkt zytopathischer Effekte am Bronchialepithel kommt es bei einer RSV-Infektion zu Epithelzellnekrosen, Inflammation sowie Detritus und Mukusansammlung in den mittleren und sehr kleinen Atemwege mit konsekutiver Erhöhung des Atemwegwiderstandes [52, 55]. Durch einen Anstieg des expiratorischen Lungenvolumens mit Überblähung der Lunge durch die eingeschränkte Expiration kommt es zur Verschiebung der Atemmittellage in einen unphysiologischen Bereich, sodass zur Aufrechterhaltung eines ausreichenden Atemzeitvolumens eine hohe Atemarbeit geleistet werden muss [30, 57]. Die Dekompensation der Atempumpe zeigt sich an einer progredienten Hyperkapnie bei klinischen Erschöpfungszeichen des tachypnoischen Säuglings oder Kindes [6, 57].

Akutes Asthma bei älteren Kindern stellt sich in der klinischen Symptomatik vergleichbar der obstruktiven Bronchitis des kleinen Kindes dar. Auch hier kommt es zu einer Einengung der kleinen Atem-

wege und zu einer Mukusansammlung. Im Gegensatz zum kleinen Kind steht hier jedoch neben der Dyskrie die Schwellung und Konstriktion der bronchialen Muskelschichten im Vordergrund, was die teilweise Reversibilität der Atemwegwiderstandserhöhung durch Betamimetika und antiinflammatorische Medikamente erklärt [10].

Seltener führt die Obstruktion im Bereich des Larynx oder der großen Atemwege bei Pseudokrapp, Epiglottitis, bakterieller Tracheitis oder durch einen Fremdkörper zum Atemversagen [17]. Auch hier kommt es final zum Versagen der Atempumpe mit vorwiegend ventilatorischer Insuffizienz bei weitgehend nicht gestörtem alveolärem Gasaustausch, bedingt durch den erhöhten Atemwegwiderstand.

» Bei alveolären Erkrankungen steht die Hypoxie im Vordergrund

Akute Störungen des alveolären Gasaustausches, wie z. B. durch eine ambulant erworbene Pneumonie oder durch ein „acute respiratory distress syndrom“ (ARDS), führen vorwiegend zum hypoxämischen Atemversagen. Bakterielle oder virale Erreger induzieren die Freisetzung von Zytokinen durch Alveolarmakrophagen, das Einwandern von Granulozyten und anderen proinflammatorischen Zellen. Die folgende Kaskade von Inflammation hat zum Ziel, pathogene Erreger zu eliminieren, bewirkt aber auch eine Sekretion von

Proteinen in das Alveolarlumen, eine intraalveoläre Ödembildung, den Verbrauch von Surfactant und in der Folge auch ein interstitielles Ödem. Die resultierende Verschlechterung der Diffusionskapazität an der alveolär-kapillären Grenzfläche führt zur Gasaustauschstörung. Aufgrund der im Vergleich zur CO₂-Diffusion schlechteren Diffusion von Sauerstoff und des größeren Effektes intrapulmonaler Shunts auf den Sauerstoffpartialdruck steht die Hypoxie bei den alveolären Erkrankungen im Vordergrund [9].

Schwerere Pneumonien mit beatmungspflichtigem Atemversagen sind eher seltener bei ansonsten gesunden Kindern, gefährdeter hingegen sind Kinder mit chronischen Erkrankungen („acute on chronic“; [17, 62]). Risikofaktoren sind klassisch neuromuskuläre Erkrankungen mit Atemmuskel- und Hustenschwäche, geistige Behinderung und Zerebralparenese. Primär pulmonale Grunderkrankungen wie zystische Fibrose und primäre ziliäre Dyskinesie sowie auch Immundefekte prädisponieren ebenfalls für ein schweres Atemversagen.

Physiologische Effekte nichtinvasiver Beatmung

Nichtinvasive Beatmung (NIV) beschreibt die Beatmung mit einer getriggerten oder nichtgetriggerten Erhöhung des Beatmungsdrucks während der Inspiration (positiver inspiratorischer Druck, PIP) und einem niedrigen Druckniveau während der Expiration



Abb. 1 ▲ Nichtinvasive Beatmung mit einer Full-face-Maske. 5 Jahre alte Patientin mit dystoner spastischer Zerebralparese nach Kernikterus und akutem Atemversagen bei Bronchopneumonie. (APCV [„assisted, pressure controlled ventilation“]-Modus, PIP [positiver inspiratorischer Druck]/PEEP [positiver endexpiratorischer Druck] 23/10 cm H₂O, Ti 1,0 s. f = 26/min)

(positiver endexpiratorischer Druck, PEEP). Durch NIV kann bereits im Säuglings- und Kindesalter Atemarbeit wirksam reduziert werden [14, 45]. Dadurch wird die Atemmuskulatur entlastet [6, 45] und kann sich regenerieren [8, 59]. Das Tidalvolumen wird durch den positiven inspiratorischen Druck vergrößert, was einen CO₂-Abfall und eine Reduktion der Atemfrequenz aufgrund der verbesserten Ventilation zur Folge hat [14, 61].

» Hypoxämisches Atemversagen ist nur bedingt einer NIV-Therapie zugänglich

Kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck (CPAP) beschreibt die Atemunterstützung mit einem gleichförmig erhöhten Atemwegsdruck über die Inspiration und die Expiration ohne Veränderung des Druckniveaus. Durch CPAP bzw. den PEEP während der NIV wird der obere Atemweg offengehalten, was durch die Reduktion des Atemwegswiderstandes zusätzlich die Atemarbeit reduziert [55]. CPAP/PEEP scheint möglicherweise ebenfalls die mittleren und kleinen Atemwege während der Expiration in geringem Maße [55]. Wahrscheinlich wird Atelektasenbildung durch PEEP reduziert [35], die Daten sind aber weniger eindeutig [55].



Abb. 2 ▲ Nasale Prongs beim Säugling. 4 Monate alter Säugling mit viralem Infekt und schwerer Tracheomalazie (CPAP [kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck] max. 12 cm H₂O)

In begrenztem Umfang kann auch der Gasaustausch über die Erhöhung des mittleren Atemwegsdrucks positiv beeinflusst werden. Aufgrund der intermittierend hohen Leckagen, wie auch durch gelegentlich notwendiges Absetzen der Beatmungsmaske, kommt es jedoch immer wieder kurzzeitig zu einem Druckabfall. Wenige Millisekunden eines Druckabfalls können bei stark eingeschränkter Compliance zum Alveolarkollaps und damit zur Hypoxie führen [47, 51]. Dies erklärt, warum das hypoxämische Atemversagen, im Gegensatz zum hyperkapnischen Versagen der Atempumpe, nur sehr bedingt einer Therapie durch NIV zugänglich ist [43, 61].

Interface und Technik

Erst seit wenigen Jahren steht ein größeres Sortiment an konfektionierten Masken für Säuglinge und Kinder zur Verfügung, was die Anwendung der NIV bei akutem Atemversagen deutlich vereinfacht hat. Bei leichtem hyperkapnischem Atemversagen, wie z. B. bei einem Patienten mit neuromuskulärer Grunderkrankung und Virusinfekt, ist eine nasale Maske ausreichend. Schweres Atemversagen und zusätzliche Hypoxie erfordern Full-face-Masken, welche aufgrund der viel niedrigeren Leckagen einen höheren Spitzendruck und PEEP erlauben (▣ Abb. 1).

Bei jungen Säuglingen kommen außerdem sog. „Prong“-Systeme als nasale Interfaces zum Einsatz. Diese sind Weiterentwicklungen aus der Neonatologie. Ihr Vorteil ist ein relativ fester Sitz, trotz wenig beeinträchtigender Befestigung. Entsprechend gut ist oft die Toleranz. Bei den oft großen Leckagen bei Verwendung von Prongs ist ein Triggern der Beatmung für den Patienten manchmal nicht möglich. Die Einstellung von Backupfrequenzen, welche geringfügig über der Spontanatemfrequenz liegen, erlaubt oft eine Synchronisierung der Beatmungshübe mit den Spontanatemzügen. Bei hohen Leckagen kann jedoch das expiratorische Tidalvolumen nicht mehr zuverlässig gemessen werden (▣ Abb. 2).

Bei geringer Masken-Compliance bei Säuglingen und Kleinkindern ist auch ein relativ groß zu wählender mononasaler pharyngealer Tubus immer noch ein mögliches Interface [60]. Man verwendet hierfür am besten weiche nicht-blockbare Tuben. Topisches Lokalanästhetikum erleichtert dem Patienten die Anlage. Ein Pharyngealtubus verhindert auch das Zurückfallen der Zunge, was in vielen Situationen und besonders bei Kindern mit Zerebralparese die Atemmechanik verbessert.

Eine nichtinvasive Beatmung von Kindern mit Beatmungshelm wird von italienischen Arbeitsgruppen beschrieben [7, 28] und war in Studien bei Erwachsenen sogar vorteilhaft [49]. Die Verwendung eines Beatmungshelms ist im deutschsprachigen Raum jedoch die Ausnahme.

Prinzipiell erlauben die meisten Intensivrespiratoren auch die Anwendung der NIV im Kindesalter. Die begrenzten Flowraten, die einige Geräte liefern, die auf Druckluft und Drucksauerstoff angewiesen sind (z. B. 6–30 l/min, Evita 4, Pädiatriemodus), ermöglichen nicht die Effizienz moderner Turbinengeräte, die wesentlich höhere Flowraten liefern (z. B. 0–240 l/min, V60, Phillips Respironics). Hohe Flowraten sind vorteilhaft, um trotz eventuellen Leckagen noch ausreichenden Beatmungsdruck zu generieren. Moderne Turbinengeräte, die speziell für die NIV entwickelt wurden, sind teilweise auch für Kinder zugelassen und sollten vorzugsweise für die NIV zur Anwendung kommen [54, 61].

Indikationen für NIV: spezifische Krankheitsbilder

Bronchiolitis

Die Wirksamkeit der nichtinvasiven Beatmung zur Behandlung der Bronchiolitis bei Säuglingen und Kleinkindern ist durch randomisierte Studien [63], eine Crossoverstudie [58] und mehrere Kohortenstudien belegt. NIV/CPAP verbessert den Gasaustausch und entlastet von Atemarbeit [45, 55].

Yanez et al. randomisierten 50 Kinder mit Atemversagen zu NIV oder Standardtherapie ohne NIV. Die meisten Säuglinge und Kinder (medianes Alter 18 vs. 16 Monate) litten an viralen Atemwegsinfekten und Bronchiolitis, nur einzelne an Asthma oder Pneumonie. Atemfrequenz und Herzfrequenz nahmen in der NIV-Gruppe signifikant schneller ab als in der Gruppe der Standardtherapie. $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ verbesserte sich in der NIV-Gruppe bereits in der ersten Stunde nach Therapiebeginn. Die Intubationsrate nach standardisierten Intubationskriterien betrug 28 % in der NIV-Gruppe und 60 % in der Standardtherapiegruppe. Beobachtete Nebenwirkungen waren vor allem lokale Hautirritationen durch die Atemmaske [63].

In ca. 80 % der Krankheitsfälle kann selbst bei schwerer Bronchiolitis durch NIV eine Intubation vermieden werden [38]. Die Stabilisierung von Kindern mit Atemversagen bei Bronchiolitis durch NIV oder CPAP ist heutzutage Therapie der Wahl auf pädiatrischen Intensivstationen [15, 24]. Der präklinische Einsatz könnte hier hilfreich sein [13].

Asthma

Kleinere randomisierte Studien mit niedrigen Fallzahlen sowie Kohortenstudien zeigen Behandlungserfolge der NIV bei Kindern und Erwachsenen mit akuter Asthmaexazerbation auf [4, 41, 58]. In den meisten Studien wurde vor allem die Verbesserung physiologischer Parameter gezeigt, für einen echten Vorteil im Langzeitoutcome oder für kurzfristige Parameter wie Intubationsraten sind die Fallzahlen jedoch zu klein bzw. es wurde keine Kontrollgruppe untersucht.

Notfall Rettungsmed 2017 · 20:641–648 <https://doi.org/10.1007/s10049-017-0368-5>
© Springer Medizin Verlag GmbH 2017

H. Fuchs · D. Klotz · T. Nicolai

Nichtinvasive Beatmung bei Kindern mit akuter respiratorischer Insuffizienz

Zusammenfassung

Akutes Atemversagen kann auch im Kindesalter mit nichtinvasiver Beatmung (NIV) behandelt werden. In den letzten Jahren wurden die technischen Voraussetzungen der NIV-Beatmungsgeräte für das Kindesalter verbessert, zudem steht heutzutage eine größere Auswahl an konfektionierten nasalen und Full-face-Masken für Kinder ab dem Säuglingsalter als Interface zur Verfügung. Vor allem Kinder mit hyperkapnischem Atemversagen profitieren von der NIV. Evidenz für Vorteile der NIV besteht für die Bronchiolitis, Asthma sowie für das „Acute-on-chronic“-Atemversagen, d. h. ein Atemversagen bedingt durch eine akute Infektion bei einer zugrunde liegenden neuromuskulären Erkrankung, Zerebralparese oder einer chronischen Lungenerkrankung wie der zystischen Fibrose. Nichtinvasive Beatmung ist bei prolongiertem Weaning von

invasiver Beatmung und bei Fehlbildungen des oberen Atemwegs hilfreich. Alveoläre Erkrankungen mit vorwiegend hypoxämischem Atemversagen wie ambulant erworbene Pneumonien oder das „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) stellen keine Indikationen für die NIV dar. Aufgrund relevanter möglicher Nebenwirkungen und der Möglichkeit der schnellen Verschlechterung des Gasaustauschs bei NIV-Versagen sollte die NIV auf der pädiatrischen Intensivstation mit der Möglichkeit zu einem raschen Wechsel auf einen invasiven Beatmungszugang stattfinden.

Schlüsselwörter

Beatmungsgeräte · Nebenwirkungen · Acute respiratory distress syndrome · Weaning · High flow nasal cannula

Noninvasive ventilation in pediatric acute respiratory failure

Abstract

Noninvasive ventilation (NIV) may be used to treat pediatric acute respiratory failure. Recent improvements in ventilator technology and availability of nasal and full face masks for infants and children have simplified the use of NIV even in the smallest children. Mainly patients with hypercapnic respiratory failure may benefit from noninvasive ventilation. There is some evidence available that supports the use of NIV in viral bronchiolitis, asthma and acute on chronic respiratory failure in patients with neuromuscular or chronic pulmonary disease. Furthermore, noninvasive ventilation is beneficial during prolonged weaning from invasive ventilation and to treat upper airway

obstructions. Children suffering from hypoxic respiratory failure, such as community-acquired pneumonia and acute respiratory distress syndrome do not benefit from NIV. Due to possibly relevant side effects and the possibility of rapid deterioration in gas exchange in failure of NIV, invasive ventilation should be readily available; therefore, treatment with noninvasive ventilation for acute respiratory failure in children should be initiated on the pediatric intensive care ward.

Keywords

Ventilation, mechanical · Side effects · Acute respiratory distress syndrome · Weaning · High flow nasal cannula

Ein Versuch mit NIV zusätzlich zu der Standardtherapie erscheint aber gerechtfertigt, insbesondere dann, wenn das hyperkapnische Atemversagen im Vordergrund steht. Hoher Sauerstoffbedarf war mit einem Scheitern der NIV und Intubationen assoziiert, sodass bei im Vordergrund stehender Hypoxie eine invasive Beatmung nicht verzögert werden darf [41].

Exazerbation neuromuskulärer Erkrankungen und Zerebralparese

Die nichtinvasive Beatmung ist in der Behandlung der chronischen und sowie der „akut auf chronischen“ respiratorischen Insuffizienz von Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen sowie bei Thorax- und Wirbelsäulendeformitäten etabliert und indiziert. Sie entlastet die chronisch überlastete Muskulatur, reduziert Dys-

Tab. 1 Absolute und relative Kontraindikationen für nichtinvasive Beatmung bei Kindern. (Nach [61])

Absolute Kontraindikationen	Fehlende Spontanatmung, Schnappatmung, Apnoen
	Verlegung der Atemwege
	Obere gastrointestinale Blutung, Ileus
Relative Kontraindikationen	Koma, fehlende Schutzreflexe
	Schluckstörungen
	Massive Agitation bzw. Abwehr trotz ausreichender Sedierung
	Unfähigkeit Sekret abzu husten
	Schwergradige Hypoxämie oder Azidose
	Hämodynamische Instabilität (z. B. Katecholaminbedarf, hämodynamisch wirksame Herzrhythmusstörungen, drohender Herz-Kreislauf-Stillstand)
	Interfaceinkompatibilität (z. B. Trauma, Verbrennung, faziale Fehlbildung)
	Zustand nach Operation des oberen Gastrointestinaltraktes

und Atelektasen und erhöht das Atemminutenvolumen und die Oxygenierung [50]. Durch die unterstützte Inspiration und das damit einhergehende höhere Atemzugvolumen können die Patienten oft auch besser Sekret abhusten. Bei akuten Infektionen muss der Beatmungsdruck bei einer Vortherapie mit häuslicher Beatmung erheblich erhöht werden. Eine zusätzliche O₂-Therapie sollte bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen so wenig wie möglich verabreicht werden, da die Atelektasenbildung durch zusätzlichen Sauerstoff gefördert wird [11, 37]. Bei hohem Risiko für bakterielle Superinfektionen sollten Patienten mit schwachem Hustenstoß auch bei fieberhaften Virusinfektionen mit Antibiotika behandelt werden [22]. Durch die NIV kann die drohende Intubation häufig noch vermieden werden.

Auch bei Patienten mit Zerebralpareesen mit und ohne Skoliosen kann die NIV den Gasaustausch und die Ventilation im Infekt deutlich verbessern. Letztendlich kommen ähnliche Mechanismen wie bei den klassischen neuromuskulären Erkrankungen zum Tragen, d. h. schwacher Hustenstoß, Sekretretention, niedriges Atemzugvolumen und Atelektasen neigung. Unserer Erfahrung nach sprechen viele Patienten hervorragend auf NIV an.

Exazerbation der zystischen Fibrose

Intubation und invasive Beatmung ist bei akuter Exazerbation der zystischen Fi-

brose (CF) mit einer hohen Mortalität und schlechtem Langzeitoutcome assoziiert [12]. Andererseits ist bekannt, dass durch NIV der Gasaustausch bei Patienten mit CF deutlich gebessert werden kann [18]. Ein primärer Behandlungsversuch mit NIV ist von daher bei Patienten mit akuter Atemwegsinfektion und CF gerechtfertigt. Ein Problem stellt nicht selten die Patientencompliance dar. Oft tolerieren Patienten mit CF die Atemmaske schlecht und entscheiden sich trotz möglicher Stabilisierung der physiologischen Parameter gegen die nichtinvasive Atemunterstützung.

Extubationsversagen

Eine nichtinvasive Beatmung hat sich bei Kindern mit hohem Risiko für ein Extubationsversagen bewährt [23, 42]. Als Risikofaktoren sind hier die vorausgehende prolongierte invasive Beatmung, persistierende Gasaustauschstörung bei Extubation, chronische neuromuskuläre Erkrankung oder chronisch parenchymatöse Lungenerkrankung zu nennen. Wichtig ist, dass der Beatmungszugang unmittelbar von invasiv auf nichtinvasiv gewechselt wird und der Patient dann schrittweise von der NIV entwöhnt wird [3, 20, 21]. Dagegen ist die NIV bei bereits eingetretenem Extubationsversagen nicht indiziert [54, 61]. Oft ist eine NIV dann nicht mehr effektiv. Aus Studien an Erwachsenen geht sogar hervor, dass sich die Mortalität erhöhte, wenn bei eingetretenem Extubationsversagen noch ver-

sucht wurde, durch Beginn von NIV die Reintubation zu verhindern [16].

Ambulant erworbene Pneumonie und ARDS

Nichtinvasive Beatmung zur Behandlung der ambulant erworbenen Pneumonie und des ARDS bei Kindern ohne zusätzliche Grunderkrankung ist wahrscheinlich nicht indiziert [54, 61]. Große randomisierte Studien an Erwachsenen konnten keinen Vorteil in Bezug auf Mortalität oder Morbidität nachweisen [5, 26]. Möglicherweise ist es bei diesem vor allem hypoxämischen Atemversagen sicherer, das ateminsuffiziente Kind direkt zu intubieren und invasiv zu beatmen.

Ein großes Risiko bei der Behandlung des hypoxämischen Atemversagens durch NIV ist die sehr akut auftretende Hypoxie, falls es z. B. durch Undichtigkeit der Maske zum Alveolarkollaps kommt. In Teilen kollabierte Lungenareale lassen sich dann nicht immer wieder eröffnen. Die dann notwendige Intubation eventuell aus der Hypoxie heraus kann sehr risikoreich sein und es können Komplikationen bis hin zum Herzstillstand mit Reanimationssituationen auftreten [27].

Aufgrund des höheren Risikos für eine ventilatorassoziierte Pneumonie und Katheterinfektionen wurde der Vorteil einer NIV bei der Gruppe der immunsupprimierten Patienten bisher höher als bei Nichtimmunsupprimierten eingeschätzt, sodass diese Patientengruppe eine Sonderstellung pro NIV auch bei hypoxämischem Atemversagen zu haben schien [1, 33]. In neueren Studien konnte aber auch hier kein Vorteil mehr nachgewiesen werden, sodass bei hypoxischem Atemversagen und Immunsuppression nach Standardtherapie und ggf. „high flow“ nasalem Sauerstoff die Intubation bei einer Verschlechterung zeitnah vorgenommen werden sollte [39, 40].

Nebenwirkungen und Kontraindikationen

Kontraindikationen für nichtinvasive Beatmung sind in **Tab. 1** aufgeführt [19, 61].

Die häufigste Nebenwirkung der NIV sind von der Maske verursachte Druck-

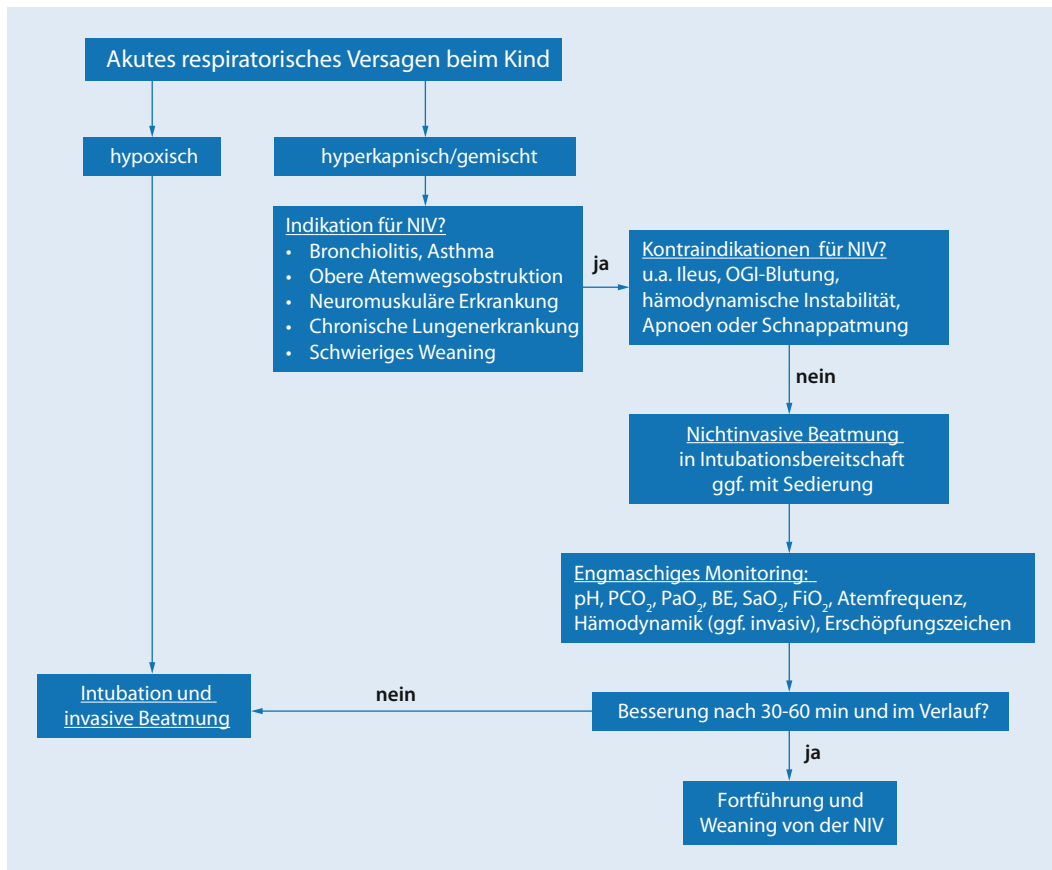


Abb. 3 ◀ Nichtinvasive Beatmung (NIV) bei akuter respiratorischer Insuffizienz bei Säuglingen und Kindern. (Nach [61]). BE Basenexzess, OGI oberer Gastrointestinaltrakt

stellen bis hin zu tiefen Ulzera. Diese treten vor allem dann auf, wenn die NIV ohne längere Pausen angewendet werden muss. Heutzutage sind Druckstellen durch den Einsatz der weichen neueren Masken deutlich seltener geworden. Es lohnt sich meist nicht, durch zu festes Anziehen der Maskenbefestigung alle Leckagen zu beseitigen, dafür aber Druckstellen zu provozieren. Ein maßvolles Anziehen der Gurte mit Akzeptanz geringer Leckagen ist langfristig oft vorteilhafter [61].

Bei einem hohen Beatmungsdruck kommt es gelegentlich zu erheblicher Aerophagie und Magendistension, was wiederum die Atemmechanik beeinträchtigen kann. Hier wird eventuell das Ableiten der Luft durch eine Magensonde notwendig. Eine PEG (perkutane endoskopische Gastrostomie) -Sonde sollte zur Entlüftung des Magens offen gelassen werden.

Selten können, insbesondere bei starker Dyspnoe, ein Pneumothorax oder Mediastinalemphysem auftreten. Gerade bei einem hohen Beatmungsdruck und

bei Verschlechterung des Gasaustausches sollte deshalb großzügig eine radiologische Verlaufskontrolle erfolgen [27, 43].

» Eine Verschlechterung der Beatmungssituation muss frühzeitig erkannt werden

Die Hauptgefahr der NIV besteht darin, dass eine progrediente Verschlechterung des Gasaustausches zu spät erkannt wird und das Risiko für Komplikationen bei der dann notwendigen Intubation stark ansteigt. Wenn der Patient auch unter NIV mit hohen Drücken bei Spontanatmung nicht mehr ausreichend oxygeniert und ventiliert, ist es eher unwahrscheinlich, dass man dies dann in der Intubationssituation mit Maske und Beatmungsbeutel erreicht. Es ist also unbedingt notwendig, eine Verschlechterung der Beatmungssituation an der NIV frühzeitig wahrzunehmen und den Beatmungszugang von nichtinvasiv auf invasiv mit entsprechenden Sicherheitsmargen vorzunehmen [27].

Aus diesen Gründen sollte die NIV bei akuter respiratorischer Insuffizienz nur dann erfolgen, wenn eine Möglichkeit zur invasiven Beatmung besteht, wie es auf der pädiatrischen Intensivstation der Fall ist. Ein Monitoring während der NIV sollte Pulsoxymetrie, Herzfrequenz, Atemfrequenz, regelmäßige Blutgase, ggf. besser durch arteriellen Zugang und FiO₂, umfassen. Verschlechterungen des Gasaustausches und Erschöpfungszeichen des Kindes müssen wahrgenommen und ggf. durch einen Wechsel auf eine invasive Beatmung beantwortet werden (▣ Abb. 3; [54, 61]).

„High flow nasal cannula“

Alternativ zur nichtinvasiven Beatmung kommt in den letzten Jahren immer mehr die „high flow nasal cannula“ (HFNC) bei der Therapie des akuten Atemversagens zum Einsatz.

Pathophysiologisch unterscheidet sich deren Wirkungsweise von der klassischen NIV über die Maske. Im Gegensatz zur NIV/nasalen (n)CPAP mit relativ



Abb. 4 ◀ „High flow nasal cannula“: 6 Monate altes ehemaliges Frühgeborenes mit komplexem Herzvitium und Rhinovirusinfektion (Gasflussrate 8 l/min)

dichten Masken erzeugt die HFNC, bei der durch schlanke Nasenbrillen ein befeuchtetes und erwärmtes Sauerstoff/Luftgemisch in die Nares geleitet wird, nur einen sehr geringen positiven Atemwegsdruck (▣ **Abb. 4**). Dies gelingt jedoch nur, wenn relativ hohen Flussraten eingesetzt werden (z. B. 4 l/min beim Neugeborenen bis 60 l/min beim Adoleszenten; [48]). Dennoch konnte ein leichter Anstieg des Lungenvolumens während der HFNC-Therapie bei Säuglingen mit Bronchiolitis nachgewiesen werden [2, 34].

Möglicherweise entstehen weitere Vorteile der HFNC durch das Auswaschen von CO₂ aus dem Nasopharynx und eine damit verbundene funktionelle Totraumverkleinerung [46]. Ein weiterer Vorteil ist die Verwendung eines befeuchteten Atemgases, was bei der Sekretolyse hilft und ggf. auch Atemwegswiderstände reduziert [25]. Der Hauptvorteil der HFNC gegenüber der NIV ist die deutlich bessere Toleranz [56] und die fast fehlenden Nebenwirkungen, weshalb die HFNC bereits häufig in Notaufnahmen, peripheren Stationen und pädiatrischen Intensivstationen eingesetzt wird [53].

In klinischen Untersuchungen zeigt die HFNC einen leichten Vorteil gegenüber der Standardtherapie mit Low-flow-Sauerstoff [26, 44]. In mehreren Kohorten wurde mit Einführung der HFNC und im Vergleich mit historischen Kontrollen vor Einführung der HFNC-Therapie eine erheblich Reduktion an Intubationen von Kindern mit Atemversagen (vor allem bei Bronchiolitis) beobachtet. Die Dauer der Bronchiolitis und das Langzeitoutcome

kann jedoch durch die HFNC nicht beeinflusst werden.

Die klassische NIV über eine Maske ist der HFNC aber in Bezug auf Effektivität überlegen. In der TRAMONTANE-Studie wurden 142 Säuglinge mit mittelschwerer und schwerer Bronchiolitis zu HFNC oder nCPAP randomisiert [44]. Ein Therapieversagen wurde in 51 % unter HFNC und 31 % unter NIV beobachtet. Auch in Studien bei Erwachsenen konnten positive Effekte der HFNC nach Extubation [31, 32] und beim akuten Atemversagen [26, 36] nachgewiesen werden. Auch bei Kindern sollte die Rolle der HFNC bei hypoxischem Atemversagen in Zukunft in Studien noch besser charakterisiert werden. Bei hyperkapnischem Atemversagen erscheint die NIV effektiver. Bei der hervorragenden Toleranz der HFNC ist ein stufenweises Vorgehen mit anfänglich HFNC und einem Wechsel auf NIV bei einer Verschlechterung gerechtfertigt.

Fazit für die Praxis

- **Nichtinvasive Beatmung hat einen hohen Stellenwert bei der Behandlung von Säuglingen und Kindern mit akutem Atemversagen. Vor allem das hyperkapnische Atemversagen lässt sich gut mit NIV behandeln.**
- **Indikationen umfassen Bronchiolitis, Asthma, neurologische Erkrankungen, akute Exazerbation einer chronischen Lungenerkrankung und Weaning von invasiver Beatmung.**
- **Aufgrund der geringen respiratorischen Reserven von Kindern und der Möglichkeit zur raschen De-**

komensation sollte die NIV auf der Intensivstation mit Möglichkeit zur umgehenden invasiven Beatmung durchgeführt werden.

Korrespondenzadresse



PD Dr. H. Fuchs

Neonatalogie und päd. Intensivmedizin, Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin, Universitätsklinikum Freiburg – Medizinische Fakultät, Albert-Ludwigs Universität Freiburg
Mathildenstraße 1,
79106 Freiburg, Deutschland
hans.fuchs@uniklinik-freiburg.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. H. Fuchs, D. Klotz und T. Nicolai geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren. Alle Patienten bzw. Sorgeberechtigten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben.

Literatur

1. Antonelli M, Conti G, Bui M et al (2000) Noninvasive ventilation for treatment of acute respiratory failure in patients undergoing solid organ transplantation: a randomized trial. *JAMA* 283:235–241
2. Arora B, Mahajan P, Zidan MA, Sethuraman U (2012) Nasopharyngeal airway pressures in bronchiolitis patients treated with high-flow nasal cannula oxygen therapy. *Pediatr Emerg Care* 28:1179–1184
3. Bach JR, Goncalves MR, Hamdani I, Winck JC (2010) Extubation of patients with neuromuscular weakness: a new management paradigm. *Chest* 137:1033–1039
4. Basnet S, Mander G, Andoh J, Klaska H, Verhulst S, Koirala J (2012) Safety, efficacy, and tolerability of early initiation of noninvasive positive pressure ventilation in pediatric patients admitted with status asthmaticus: a pilot study. *Pediatr Crit Care Med* 13:393–398
5. Bellani G, Laffey JG, Pham T et al (2017) Noninvasive ventilation of patients with acute respiratory distress syndrome. Insights from the LUNG SAFE study. *Am J Respir Crit Care Med* 195:67–77
6. Cambonie G, Milesi C, Jaber S et al (2008) Nasal continuous positive airway pressure decreases respiratory muscles overload in young infants with severe acute viral bronchiolitis. *Intensive Care Med* 34:1865–1872
7. Chidini G, Calderini E, Cesana BM, Gandini C, Prandi E, Pelosi P (2010) Noninvasive continuous positive airway pressure in acute respiratory failure: helmet versus facial mask. *Pediatrics* 126:e330–e336

8. Cohen CA, Zigelbaum G, Gross D, Roussos C, Macklem PT (1982) Clinical manifestations of inspiratory muscle fatigue. *Am J Med* 73:308–316
9. Cornfield DN (2013) Acute respiratory distress syndrome in children: physiology and management. *Curr Opin Pediatr* 25:338–343
10. de Benedictis FM, Attanasi M (2016) Asthma in childhood. *Eur Respir Rev* 25:41–47
11. Edmark L, Auner U, Enlund M, Ostberg E, Hedenstierna G (2011) Oxygen concentration and characteristics of progressive atelectasis formation during anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 55:75–81
12. Ellaff M, Vinsonneau C, Coste J et al (2005) One-year outcome after severe pulmonary exacerbation in adults with cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 171:158–164
13. Essouri S, Baudin F, Chevret L, Vincent M, Emeriaud G, Jovet P (2017) Variability of care in infants with severe bronchiolitis: less-invasive respiratory management leads to similar outcomes. *J Pediatr* 188:156–162e.1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.05.033>
14. Essouri S, Durand P, Chevret L et al (2008) Physiological effects of noninvasive positive ventilation during acute moderate hypercapnic respiratory insufficiency in children. *Intensive Care Med* 34:2248–2255
15. Essouri S, Laurent M, Chevret L et al (2014) Improved clinical and economic outcomes in severe bronchiolitis with pre-emptive nCPAP ventilatory strategy. *Intensive Care Med* 40:84–91
16. Esteban A, Frutos-Vivar F, Ferguson ND et al (2004) Noninvasive positive-pressure ventilation for respiratory failure after extubation. *N Engl J Med* 350:2452–2460
17. Farias JA, Fernandez A, Monteverde E et al (2012) Mechanical ventilation in pediatric intensive care units during the season for acute lower respiratory infection: a multicenter study. *Pediatr Crit Care Med* 13:158–164
18. Fauroux B, Louis B, Hart N et al (2004) The effect of back-up rate during non-invasive ventilation in young patients with cystic fibrosis. *Intensive Care Med* 30:673–681
19. Fedor KL (2017) Noninvasive respiratory support in infants and children. *Respir Care* 62:699–717
20. Ferrer M, Esquinas A, Arancibia F et al (2003) Noninvasive ventilation during persistent weaning failure: a randomized controlled trial. *Am J Respir Crit Care Med* 168:70–76
21. Ferrer M, Valencia M, Nicolas JM, Bernadich O, Badia JR, Torres A (2006) Early noninvasive ventilation averts extubation failure in patients at risk: a randomized trial. *Am J Respir Crit Care Med* 173:164–170
22. Fields E, Chard J, Murphy MS, Richardson M (2013) Assessment and initial management of feverish illness in children younger than 5 years: summary of updated NICE guidance. *BMJ* 346:f2866. <https://doi.org/10.1136/bmj.f2866>
23. Fioretto JR, Ribeiro CF, Carpi MF et al (2015) Comparison between noninvasive mechanical ventilation and standard oxygen therapy in children up to 3 years old with respiratory failure after extubation: a pilot prospective randomized clinical study. *Pediatr Crit Care Med* 16:124–130
24. Flores-Gonzalez JC, Mayordomo-Colunga J, Jordan I et al (2017) Prospective multicenter study on the epidemiology and current therapeutic management of severe bronchiolitis in Spain. *Biomed Res Int* 2017:2565397. <https://doi.org/10.1155/2017/2565397>
25. Fontanari P, Burnet H, Zattara-Hartmann MC, Jammes Y (1996) Changes in airway resistance induced by nasal inhalation of cold dry, dry, or moist air in normal individuals. *J Appl Physiol* 81(4):1739–1743
26. Frat JP, Thille AW, Mercat A et al (2015) High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *N Engl J Med* 372:2185–2196
27. Fuchs H, Schoss J, Mendler M et al (2015) The cause of acute respiratory failure predicts the outcome of noninvasive ventilation in immunocompromised children. *Klin Padiatr* 227:322–328
28. Gregoretti C, Pelosi P, Chidini G, Bignamini E, Calderini E (2010) Non-invasive ventilation in pediatric intensive care. *Minerva Pediatr* 62:437–458
29. Hammer J (2013) Acute respiratory failure in children. *Paediatr Respir Rev* 14:64–69
30. Hammer J, Numa A, Newth CJ (1997) Acute respiratory distress syndrome caused by respiratory syncytial virus. *Pediatr Pulmonol* 23:176–183
31. Hernandez G, Vaquero C, Colinas L et al (2016) Effect of postextubation high-flow nasal cannula vs noninvasive ventilation on reintubation and postextubation respiratory failure in high-risk patients: a randomized clinical trial. *JAMA* 316:1565–1574
32. Hernandez G, Vaquero C, Gonzalez P et al (2016) Effect of postextubation high-flow nasal cannula vs conventional oxygen therapy on reintubation in low-risk patients: a randomized clinical trial. *JAMA* 315:1354–1361
33. 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
34. Hough JL, Pham TM, Schibler A (2014) Physiologic effect of high-flow nasal cannula in infants with bronchiolitis. *Pediatr Crit Care Med* 15:e214–e219
35. Javouhey E, Pouyau R, Massenavette B (2014) Pathophysiology of acute respiratory failure in children with bronchiolitis and effect of CPAP. In: Esquinas AM (Hrsg) *Noninvasive ventilation in high-risk infections and mass casualty events*. Springer, Vienna, S233–249
36. Jones PG, Kamona S, Doran O, Sawtell F, Wilsher M (2016) Randomized controlled trial of humidified high-flow nasal oxygen for acute respiratory distress in the emergency department: the HOT-ER study. *Respir Care* 61:291–299
37. Joyce CJ, Baker AB, Kennedy RR (1993) Gas uptake from an unventilated area of lung: computer model of absorption atelectasis. *J Appl Physiol* 1985(74):1107–1116
38. Lazner MR, Basu AP, Klonin H (2012) Non-invasive ventilation for severe bronchiolitis: analysis and evidence. *Pediatr Pulmonol* 47:909–916
39. Lemiale V, Mokart D, Resche-Rigon M et al (2015) Effect of noninvasive ventilation vs oxygen therapy on mortality among immunocompromised patients with acute respiratory failure: a randomized clinical trial. *JAMA* 314:1711–1719
40. Liu J, Bell C, Campbell V et al (2017) Noninvasive ventilation in patients with hematologic malignancy. *J Intensive Care Med*. <https://doi.org/10.1177/0885066617690725>
41. Mayordomo-Colunga J, Medina A, Rey C et al (2011) Non-invasive ventilation in pediatric status asthmaticus: a prospective observational study. *Pediatr Pulmonol* 46:949–955
42. Mayordomo-Colunga J, Medina A, Rey C et al (2010) Non invasive ventilation after extubation in paediatric patients: a preliminary study. *BMC Pediatr* 10:29
43. Mayordomo-Colunga J, Medina A, Rey C et al (2009) Predictive factors of non invasive ventilation failure in critically ill children: a prospective epidemiological study. *Intensive Care Med* 35:527–536
44. Milesi C, Essouri S, Pouyau R et al (2017) High flow nasal cannula (HFNC) versus nasal continuous positive airway pressure (nCPAP) for the initial respiratory management of acute viral bronchiolitis in young infants: a multicenter randomized controlled trial (TRAMONTANE study). *Intensive Care Med* 43:209–216
45. Milesi C, Matecki S, Jaber S et al (2013) 6 cmH₂O continuous positive airway pressure versus conventional oxygen therapy in severe viral bronchiolitis: a randomized trial. *Pediatr Pulmonol* 48:45–51
46. Moller W, Feng S, Domanski U et al (2017) Nasal high flow reduces dead space. *J Appl Physiol* 122:191–197
47. Neumann P, Berglund JE, Mondejar EF, Magnusson A, Hedenstierna G (1998) Effect of different pressure levels on the dynamics of lung collapse and recruitment in oleic-acid-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 158:1636–1643
48. Parke RL, Eccleston ML, McGuinness SP (2011) The effects of flow on airway pressure during nasal high-flow oxygen therapy. *Respir Care* 56:1151–1155
49. Patel BK, Wolfe KS, Pohlman AS, Hall JB, Kress JP (2016) Effect of noninvasive ventilation delivered by helmet vs face mask on the rate of endotracheal intubation in patients with acute respiratory distress syndrome: a randomized clinical trial. *JAMA* 315:2435–2441
50. Piastra M, Antonelli M, Caresta E, Chiaretti A, Polidori G, Conti G (2006) Noninvasive ventilation in childhood acute neuromuscular respiratory failure: a pilot study. *Respiration* 73:791–798
51. Piastra M, De Luca D, Pietrini D et al (2009) Noninvasive pressure-support ventilation in immunocompromised children with ARDS: a feasibility study. *Intensive Care Med* 35:1420–1427
52. Piedimonte G, Perez MK (2014) Respiratory syncytial virus infection and bronchiolitis. *Pediatr Rev* 35:519–530
53. Schibler A, Franklin D (2016) Respiratory support for children in the emergency department. *J Paediatr Child Health* 52:192–196
54. Schonhofer B, Kuhlen R, Neumann P, Westhoff M, Berndt C, Sitter H (2008) Clinical practice guideline: non-invasive mechanical ventilation as treatment of acute respiratory failure. *Dtsch Arztebl Int* 105:424–433
55. Sinha IP, McBride AKS, Smith R, Fernandes RM (2015) CPAP and high-flow nasal cannula oxygen in bronchiolitis. *Chest* 148:810–823
56. Spentzas T, Minarik M, Patters AB, Vinson B, Stidham G (2009) Children with respiratory distress treated with high-flow nasal cannula. *J Intensive Care Med* 24:323–328
57. Stokes GM, Milner AD, Groggins RC (1981) Work of breathing, intra-thoracic pressure and clinical findings in a group of babies with bronchiolitis. *Acta Paediatr Scand* 70:689–694
58. Thia LP, McKenzie SA, Blyth TP, Minasian CC, Kozłowska WJ, Carr SB (2008) Randomised controlled trial of nasal continuous positive airways pressure (CPAP) in bronchiolitis. *Arch Dis Child* 93:45–47
59. Toussaint M, Soudon P, Kinnear W (2008) Effect of non-invasive ventilation on respiratory muscle loading and endurance in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Thorax* 63:430–434

60. Velasco AE, Cambra Lasasa FJ, Hernandez PL, Del Millan Garcia RN, Pons-Odena M (2014) Is a nasopharyngeal tube effective as interface to provide bi-level noninvasive ventilation? *Respir Care* 59:510–517
61. Westhoff M, Schonhofer B, Neumann P et al (2015) Noninvasive mechanical ventilation in acute respiratory failure. *Pneumologie* 69:719–756
62. Williams DJ, Zhu Y, Grijalva CG et al (2016) Predicting severe pneumonia outcomes in children. *Pediatrics* 138(4):e20161019–e20161019
63. Yanez LJ, Yunge M, Emilfork M et al (2008) A prospective, randomized, controlled trial of noninvasive ventilation in pediatric acute respiratory failure. *Pediatr Crit Care Med* 9:484–489

Hier steht eine Anzeige.