

M. Neukirch
B. Schmidt
S. Sonnenberger
M. Knuf
R. Huth

Nicht-invasive Beatmung bei Kindern und Jugendlichen auf einer interdisziplinären pädiatrischen Intensivstation

Non-invasive ventilation of children in an interdisciplinary pediatric intensive care unit

■ **Summary** Non-invasive ventilation (NIV) is defined as the use of a mask to provide ventilatory support. Avoiding endotracheal intubation and reducing the rate of complications and mortality secondary to intubation is the most important advantage. In a retrospective study we analysed the number and indications for NIV in our pediatric intensive care unit (PICU) in the last four years. We also examined the number of secondary intubations and deaths in these patients. NIV was applied either with a constant flow device (Vital-Sign) with PEEP valves from 5 to 12.5 cm H₂O or Hamilton Galileo

Gold using NIV or ASV (adaptive support ventilation) mode. We used full face or nasal masks. NIV was applied in 25 patients admitted to our PICU in the last four years. Underlying diseases were haematological diseases, congenital cardiac abnormalities, cystic fibrosis, neuromuscular diseases, near drowning, polytrauma and mechanical ileus. The most frequent indications for NIV were pneumonias, the recruitment of atelectasis and pulmonary oedemas. Other indications were the support of ventilation as a palliative treatment, status asthmaticus, respiratory failure secondary to a spinal cord lesion and anticonvulsive treatment and in one patient with cystic fibrosis as a bridge to lung transplantation. Secondary intubations had to be done in 7 patients. Five of them had an underlying haematological disease with severe pneumonia and 3 of them had also ALI or ARDS. All our patients survived, except one patient with lung aspergillosis, who had to be intubated secondary and the 4 patients with end stage diseases obtaining NIV as a palliative treatment. In our opinion the NIV offers an effective and successful alternative to conventional mechanical ventilation, especially for the treatment and support of children with pneumonias, atelec-

tasis, pulmonary oedemas and weaning from ventilation. More randomised controlled trails are required especially for patients with ALI and ARDS.

■ Key words

Non-invasive ventilation – acute respiratory insufficiency – pediatrics – mask ventilation – intensive care

■ **Zusammenfassung** Unter der nicht-invasiven Beatmung (NIV) versteht man die Beatmung über eine Maske. Der wichtigste Vorteil der NIV ist die Vermeidung von Intubationen und Reduzierung der damit verbundenen Komplikationen und sekundären Mortalität. In einer retrospektiven Studie analysierten wir die Häufigkeit und Indikationen der NIV auf unserer pädiatrischen Intensivstation in den letzten vier Jahren. Wir untersuchten die Anzahl der sekundären Intubationen und Todesfälle unter diesen Patienten. Die NIV wurde entweder mit einem konstant Flow-Gerät (Vital-Sign) mit Peep-Ventilen von 5 bis 12,5 cm H₂O oder mit dem Hamilton Galileo Gold durchgeführt, bei dem als Beatmungsmodus NIV oder ASV (adaptive support ventilation) gewählt wurde. Wir verwendeten entweder Full-Face- oder Gesichtsmasken. 25 Patienten wurden in den letzten 4 Jah-

Eingegangen: 8. Oktober 2003
Akzeptiert: 22. November 2003

Dr. M. Neukirch (✉) · B. Schmidt
S. Sonnenberger · M. Knuf · R. Huth
PICU
Kinderklinik
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
Langenbeckstr. 1
55101 Mainz, Germany
E-Mail: Marc.Neukirch@web.de

ren auf unserer interdisziplinären Intensivstation nicht-invasiv beatmet. Als Grunderkrankung wiesen die Patienten hämatologische Erkrankungen, angeborene Herzfehler, Mukoviszidose, neuromuskuläre Erkrankungen, Beinahe-Ertrinken, Polytraumen oder einen mechanischen Ileus auf. Die häufigste Indikation für die NIV waren Pneumonien, die Rekrutierung von Atelektasen und Lungenödem. Andere Indikationen waren die palliative Unterstützung der Beatmung, Status asthmaticus, respiratorische Insuffizienz als Folge einer Querschnittsyp-

tomatik und einer antikonvulsiven Behandlung und bei einer Patientin mit einer Mukoviszidose eine Überbrückung bis zur Lungentransplantation. 7 Patienten mussten sekundär intubiert werden. Von diesen hatten 5 Kinder eine hämatologische Grunderkrankung mit schweren Pneumonien und 3 wiesen zusätzlich ein ALI oder ARDS auf. Bis auf einen Patienten mit einer Lungenaspergillose und 4 Patienten mit Erkrankungen im Endstadium, die die NIV als palliative Behandlung erhielten, überlebten alle Patienten. Nach unserer Meinung bietet

die NIV eine effektive und erfolgreiche Alternative zur konventionellen Beatmung, besonders in der Behandlung von Kindern mit Pneumonien, Atelektasen, Lungenödem und der Beatmungsentwöhnung. Neue randomisierte und kontrollierte Studien sind erforderlich, besonders für Patienten mit ALI oder ARDS.

■ Schlüsselwörter

Nicht-invasive Beatmung – Akute respiratorische Insuffizienz – Pädiatrie – Maskenbeatmung – Intensivmedizin

Einleitung

Unter der nicht-invasiven Beatmung (non-invasive ventilation, NIV) versteht man die Beatmung über eine Maske oder mittels Negativdruckbeatmung. Eine besondere Bedeutung erlangte die NIV im Rahmen der Polioepidemie um 1950, bei der die Beatmung mit der so genannten „eisernen Lunge“ erfolgte.

In der Behandlung von Früh- und Neugeborenen ist die NIV in Form des nasalen CPAPs oder bei Kindern mit Insuffizienz der Atempumpe (z. B. bei neuromuskulären Erkrankungen) als Heimbeatmung über eine Maske seit langem ein etabliertes Verfahren. In den letzten Jahren rückt die NIV aber auch für Kinder jenseits des Neugeborenenalters mit akuter respiratorischer Insuffizienz zunehmend in den Mittelpunkt des Interesses der pädiatrischen Intensivmedizin.

Erste Veröffentlichungen finden sich bei Akingbola et al. [1] an zwei Kindern. Während jedoch bei Erwachsenen die NIV bei bestimmten Krankheitsbildern, wie z. B. der COPD oder dem Lungenödem, zu einer klaren Indikation geworden ist [2–4], existieren in der Pädiatrie kaum eindeutige Indikationen oder kontrollierte Studien. In dem kürzlich erschienen Review von Teague [5] sind viel versprechende Ergebnisse in der Behandlung von Pneumonien, Atelektasen, obstruktiven Apnoen/Hypopnoen, Lungenödem oder neuromuskulären Erkrankungen beschrieben.

Der große Vorteil der NIV liegt in der Vermeidung der Intubation und der damit verbundenen Komplikationen (Tab. 1). Neben dem besseren Wohlbefinden des Patienten, sind vor allem die verbesserte immunologische Kompetenz durch den Verzicht auf Sedativa, als auch die Vermeidung beatmungs-

Tab. 1 Vorteile der NIV

- Vermeidung einer Intubation
- Vermeidung beatmungsassoziierter Pneumonien
- Geringere Analgosedierung
- Höhere immunologische Kompetenz
- Pat. kann kommunizieren
- Orale Nahrungsaufnahme ist möglich
- Pat. kann husten
- Vermeidung von Spätkomplikationen einer Intubation (z. B. Strikturen)

Tab. 2 Nachteile der NIV

- Limitierte Beatmungseinstellungen
- Maskenkomplikationen (z. B. Druckstellen)
- Aspirationsgefahr
- Kooperation des Patienten erforderlich
- Aerophagie
- Personal- und zeitaufwendig

assoziierter Pneumonien [6] hervorzuheben, wodurch gerade bei immunsupprimierten Patienten die Mortalität gesenkt werden kann.

Neben den oben genannten Vorteilen sind aber auch die Nachteile der NIV (Tab. 2) zu beachten. Um die NIV erfolgreich durchführen zu können ist eine gute Kooperation des Patienten erforderlich. Gerade bei unseren kleinen Patienten, die schon im Rahmen ihrer respiratorischen Insuffizienz einer besonderen Belastungssituation ausgesetzt sind, kann die Beatmung über eine Maske ein zusätzliches Angst- und Beklemmungsgefühl verursachen. Besonders in der initialen Phase ist die NIV deshalb sehr personal- und zeitaufwendig, während nach einer gewissen Anwendungszeit der Personalaufwand geringer als bei der invasiven Beatmung erscheint.

Als mögliche Nebenwirkungen der NIV sind Hauterosionen und -nekrosen, Aspirationen, Beklemmungsgefühle oder Angstzustände unter der Maske, Konjunktivitis, Aerophagie, Pneumothoraces und Pneumomediastinum hervorzuheben.

Indikationen für die NIV bei Kindern sind in Tabelle 3 aufgeführt. Für die Wahl des Beatmungsmodus bei diesen Krankheitsbildern muss zunächst geklärt werden, ob eine hypoxämische, hyperkapnische oder gemischte respiratorische Insuffizienz vorliegt.

Wie oben schon erwähnt, existieren bei Kindern keine klaren Anwendungsindikationen, die in kontrollierten und randomisierten Studien überprüft wurden. Die bisher veröffentlichten Arbeiten ermutigen die Anwendungen in der pädiatrischen Intensivmedizin zu erweitern, auch wenn der Stellenwert bei den einzelnen Ursachen der respiratorischen Insuffizienz noch herausgearbeitet werden muss.

Die Kontraindikationen der NIV sind in Tabelle 4 dargelegt. Vor allem Patienten mit Herz- oder Atemstillstand, akuter lebensbedrohlicher Hypoxie, hämodynamischer Instabilität und Bewusstseinstörungen müssen der konventionellen Beatmung zugeführt werden.

Eine erfolgreiche Therapie ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Nach Beginn der NIV muss der Patient durch geschultes und erfahrenes Personal intensiv betreut und beobachtet werden. Als Erfolgskriterium gelten neben Verbesserung der Dyspnoe, die Abnahme der Herz- und Atemfrequenz, die Besserung der Blutgase im Sinne eines Anstiegs des pH-Wertes, Abfall des pCO₂ und Zunahme der Oxygenierung. Sollte es nicht innerhalb einer Stunde zu einer Besserung der oben angeführten Parameter gekommen sein, ist die NIV abzubrechen und der Patient zu intubieren. In der Literatur sind auch so genannte „late failure“ beschrieben [7], also Patienten, bei denen erst nach 48 h ein Therapieversagen eintritt und bei denen durch eine Verlängerung der NIV eine Erhöhung der Mortalität bedingt sein kann.

Tab. 3 Indikationen für die NIV

■	Pneumonien
■	Atelektasen
■	Lungenödem
■	Weaning
■	Neuromuskuläre Erkrankungen
■	Thoraxdeformitäten
■	Status asthmaticus
■	Chronische Lungenerkrankungen (CF, BPD)
■	Tacheomalazie/Stridor
■	Obesitas Hypoventilation
■	Zentrale Atemantriebsstörungen
■	ARDS
■	Überbrückung bis zur Lungentransplantation
■	Exazerbierte COPD

Tab. 4 Kontraindikationen für die NIV

■	Herz- oder Atemstillstand
■	Akut lebensbedrohliche Hypoxie
■	Koma/Bewusstseinsstörung
■	Hämodynamische Instabilität
■	Erhöhte Aspirationsgefahr
■	Verlegung der Atemwege
■	Unkooperativer Patient
■	Gesichtsverletzungen
■	Nach chirurgischen Eingriffen an den oberen Luftwegen/oberen Gastrointestinaltrakt
■	Obere gastrointestinale Blutungen
■	Erbrechen
■	Starke Sekretretention

Fragestellung

In dieser Arbeit untersuchten wir in einer retrospektiven Analyse die Anzahl und Anwendungsindikationen der NIV bei den Patienten auf unserer interdisziplinären pädiatrischen Intensivstation. Als weitere Faktoren überprüften wir das Outcome und den Anteil der sekundär intubiert und beatmeten Patienten.

Methodik

Wir werteten einem Zeitraum von Juli 1999 bis August 2003 aus. Die NIV wurde initial mit dem konstant Flow-Gerät Vital-Flow 100 durchgeführt. Es kamen PEEP-Ventile von 5 bis 12,5 cm H₂O zum Einsatz, bei individuell adaptiertem inspiratorischen Flow und Sauerstoffzufuhr. Seit ca. einem Jahr verwenden wir zusätzlich den Hamilton Galileo Gold, der eine Option zur nicht-invasiven Beatmung besitzt. Die Wahl des Beatmungsgerätes wurde nach der Indikationsstellung für die NIV gewählt. Beim Galileo Gold verwendeten wir die Beatmungsmodi NIV und ASV. Der ASV-Modus (adaptive support ventilation) sorgt unabhängig von den Atembemühungen des Patienten für die Einhaltung eines vom Bediener eingestellten minimalen Minutenvolumens. Das Ziel-Atemmuster (Tidalvolumen und Frequenz) wird anhand der Otis-Formel berechnet [8].

Patient 18 mit einer spinalen Muskelatrophie wurde zunächst nicht-invasiv mit dem Galileo Gold im NIV-Modus und dann zur Einstellung auf eine nächtliche Heimbeatmung mit der Hélicia 2 der Firma VitalAire im PSV-Modus beatmet.

Als Masken wurden entweder Full-Face- oder Nasenmasken benutzt. Die Full-Face-Masken stammen von der Firma Vital-Sign und werden in unterschiedlichen Größen hergestellt. Die Nasenmasken sind in 4 Größen von der Firma Dahlhausen erhält-

lich. Bei Patient 18 wurde eine individuelle Maske angefertigt.

Neben der klinischen Beurteilung des Patienten wurden folgende Parameter erhoben: Atem- und Herzfrequenz, FiO₂, Pulsoxymetrie, arterielle oder kapilläre Blutgasanalyse, end-tidal CO₂ bzw. transcutanes CO₂, Tidalvolumen, Atemminutenvolumen und Blutdruck.

Eine Sedierung wurde nur im Bedarfsfall verabreicht. Als Medikamente verwendeten wir indivi-

duell am Patienten ausgerichtet Chloralhydrat, Midazolam, Lorazepam, Piritramid, Fentanyl, Sufentanil, Ketanest S oder Propofol.

Ergebnis

Wir beatmeten 25 Patienten mit einem Lebensalter von 4–29 Jahren nicht-invasiv (Tab. 5). 11 Patienten (44%) litten an einer hämatologisch-onkologischen

Tab. 5

Pat.	Alter Jahre	Grunderkrankung	Indikation für die NIV	Beatmungsmodus	Intubation nach NIV	Outcome
1	29	Mukoviszidose	Pneumonie mit respiratorische Globalinsuffizienz, palliativ	CPAP	Nein	†
2	13	B-ALL	Pneumonie	CPAP	Nein	Verlegung
3	11	Strukturelle Myopathie	Pneumonie mit Atelektasen	CPAP	Nein	Verlegung
4	8	Fontan-Kompletierung	Atelektasen post extubationem	CPAP	Nein	Verlegung
5	13	Bridenileus	Atelektasen post extubationem	CPAP	Nein	Verlegung
6	19	Modifizierte Fontan-OP, Multiorganversagen	Ateminsuffizienz nach antikonvulsiver Therapie	CPAP	Nein	Verlegung
7	11	M. Hodgkin rezidiv	Ateminsuffizienz, palliativ	CPAP	Nein	†
8	13	B-Lymphom	Pneumonie	CPAP	Ja	Verlegung
9	11	Septische Granulomatose	Lungenaspergillose, ALI	CPAP	Ja	†
10	13	ALL	Pneumonie	CPAP	Ja	Verlegung
11	15	Nasopharynx-Ca	Pneumonie, ARDS	CPAP	Ja	Verlegung
12	15	Mukoviszidose, Cor pulmonale	Respiratorische Globalinsuffizienz, palliativ	CPAP	Nein	†
13	19	Trisomie 21, AV-Kanal, Eisenmenger-Reaktion	Kardiales Lungenödem	CPAP	Nein	Verlegung
14	4	Astrozytom	Querschnittssymptomatik, einseitige Zwerchfellparese	CPAP	Ja	Verlegung
15	4	Erworbene hämophagozytische Lymphohistiozytose	Respiratorische Globalinsuffizienz, palliativ	CPAP	Nein	†
16	10	Lungenmetastase bei Wilms-Tumor	Atelektasen nach Lungenteilresektion	CPAP	Nein	Verlegung
17	14	Mukoviszidose	Pneumonie	CPAP	Nein	Verlegung
18	13	Spinale Muskelatrophie Typ II und Skoliose	Pneumonie mit Atelektasen	PSV	Nein	Verlegung
19 ^a	12	Mukoviszidose	Z. n. Pleurodese bds.	NIV	Nein	Verlegung
20	11	Mukoviszidose	Status asthmaticus mit respiratorischer Globalinsuffizienz	ASV	Ja	Verlegung
21	5	Polytrauma	Lungenödem, ARDS	ASV	Ja	Verlegung
22	14	Ertrinkungsunfall	Lungenödem	CPAP	Nein	Verlegung
23 ^a	12	Mukoviszidose	Pneumonie mit respiratorische Globalinsuffizienz, Überbrückung bis zur Lungentransplantation	NIV	Nein	Verlegung
24	9	AML	Pneumonie	CPAP	Nein	Verlegung
25	7	Hepatoblastom	Atelektasen post extubationem	CPAP	Nein	Verlegung

† = verstorben; ^a Patient 19 und 23 sind dieselben Patienten

Grunderkrankung, 6 Patienten (24%) an einer Mukoviszidose und 3 Patienten (12%) an einem angeborenen Vitium cordis. Weitere Erkrankungen waren bei je einem Patienten ein Bridenileus, ein Polytrauma, ein Ertrinkungsunfall, eine strukturelle Myopathie und eine spinale Muskelatrophie Typ II.

Pneumonien waren mit 44% die häufigste Indikation zur NIV (11 Patienten). Unter diesen Patienten wiesen je 2 Patienten zusätzlich ein ARDS bzw. ALI oder Atelektasen auf. Die Rekrutierung von Atelektasen war bei 4 Patienten (16%) die primäre Indikation für die NIV, bei 3 Patienten waren die Atelektasen post extubationem aufgetreten und bei einem weiteren Patienten nach Lungenteilresektion. Ein Lungenödem war ebenfalls bei 3 Patienten (12%) Ursache der NIV. Andere Indikationen waren eine respiratorische Globalinsuffizienz im Rahmen eines Status asthmaticus, eine Querschnittssymptomatik mit einseitiger Zwerchfellparese nach Tumorentfernung im Hirnstamm, bei einem Patienten eine Mukoviszidose und bei 2 Patienten eine hämatologische Erkrankung im Endstadium. Eine Patientin wurde postoperativ nach einer beidseitigen operativen Pleurodese und ein weiterer Patient nach einer antikonvulsiven Therapie mit konsekutiver Ateminsuffizienz nicht-invasiv beatmet.

Von den 4 Kindern, die palliativ während des Sterbeprozesses nicht-invasiv beatmet wurden, waren je 2 Kinder an einer hämatologischen Grunderkrankung oder an einer Mukoviszidose, ohne die Option einer Lungentransplantation, im Endstadium erkrankt.

Von den 25 Patienten mussten 7 sekundär intubiert werden (28%), darunter waren auch die 3 Patienten mit dem klinischen und radiologischen Bild eines ALI oder ARDS. Ohne die 4 Patienten, die palliativ nicht-invasiv beatmet wurden, betrug die Intubationsrate 33%. Ein Patient mit einer septischen Granulomatose und Lungenaspergillose, der sekundär intubiert werden musste, verstarb.

Nebenwirkungen der NIV traten bei unseren Patienten kaum auf. Patient 18 mit einer spinalen Muskelatrophie entwickelte eine Hautnekrose am Nasenrücken. Nach Anfertigung einer individuellen Nasenmaske, heilte die Nekrose unter konservativer Behandlung ab. Patientin 23 mit einer Mukoviszidose erlitt unter der nicht-invasiven Beatmung einen Pneumothorax. Bei dieser Patientin war in der Vergangenheit eine chirurgische Pleurodese aufgrund rezidivierender Pneumothoraces durchgeführt worden, wonach sie im Anschluss erstmalig nicht-invasiv beatmet worden war.

Diskussion

Wir beatmen in unserer Abteilung Patienten seit 4 Jahren mit zunehmender Tendenz nicht-invasiv. Für die reine CPAP-Beatmung verwenden wir ein

konstant Flow-Gerät der Firma Vital-Guard. Die Handhabung des Gerätes ist einfach und sicher und es stehen verschiedene PEEP-Ventile zur Verfügung. Die Anwendung solcher Geräte ist aber begrenzt und bei Erkrankungen, die mit einer Insuffizienz der Atempumpe einhergehen, nicht ausreichend.

Mit dem Galileo Gold von Hämliton steht uns ein Atemgerät mit einer NIV-Option zur Verfügung, welches das Anwendungsspektrum erweitert. Neben der NIV-Option wurden von uns aber auch der ASV-Modus nicht-invasiv genutzt.

Bei den oben angeführten Ergebnissen fällt ein hoher Anteil an Patienten mit einer hämatologischen Grunderkrankung (44%) auf. Diese Patienten besitzen aufgrund ihrer immunsuppressiven Therapie ein besonders hohes Risiko eine beatmungsassoziierte Infektion zu erleiden, mit möglicherweise letalen Folgen. Sie profitieren deshalb in besonderem Maße von der NIV. Für Erwachsene konnte durch NIV bei immunsuppremierten Patienten eine Reduktion der Intubationshäufigkeit, der pulmonalen Komplikationen sowie der Letalität auf der Intensivstation nachgewiesen werden [9]. Ähnliches lässt sich auch für Patienten mit einer Mukoviszidose vermuten.

Der an einer Mukoviszidose erkrankte Patient 20 hatte vor dem Aufenthalt auf unsere Intensivstation noch keinen nachgewiesenen „Problemkeim“ im Sputum oder Trachealsekret. Unter der invasiven Beatmung konnte *Serratia liquefaciens* nachgewiesen werden. Dieser Patient wurde im Status asthmaticus auf unsere Intensivstation aufgenommen. Trotz Ausschöpfung aller konservativen Maßnahmen entwickelte er eine respiratorische Globalinsuffizienz, so dass wir eine NIV im ASV-Modus begannen. Die Anpassung einer geeigneten Maske erwies sich als besonders schwierig, da der Patient zunächst keine Maskenbeatmung tolerierte. Erst unter Analgosedierung mit Propofol, Ketanest und Piritramid konnte eine ausreichende Akzeptanz erreicht werden. Nach 81 h nicht-invasiver Beatmung musste der Patient aufgrund zunehmender Hyperkapnie intubiert und konventionell beatmet werden. Von Teague [10] beschrieb in seiner Studie eine Intubationsrate von 27% bei Patienten im Status asthmaticus. In einer von Akingbola [11] veröffentlichten Arbeit konnten 3 Kinder im Status asthmaticus erfolgreich nicht-invasiv beatmet werden. Eine generelle Empfehlung für die NIV beim Status asthmaticus wird von der British Thoracic Society [12] nicht gegeben.

Es bedarf in vielen Fällen einer nicht unerheblichen Überzeugungsarbeit, unseren kleinen Patienten die Notwendigkeit einer Atemhilfe über eine Maske zu verdeutlichen. Die durch die Luftnot verursachte Angst und Panik wird gelegentlich durch die Maske verstärkt und macht unter Umständen eine kontinuierliche nicht-invasive Atemhilfe unmöglich. Nach

unseren Beobachtungen steigt aber meist die Toleranz im Verlauf der nicht-invasiven Beatmung. Ist dies nicht gegeben, kann, wie im obigen Fall erwähnt, durch eine individuell ausgerichtete Sedierung die NIV ermöglicht werden. Eine Analgosedierung wurde bei uns nur im Bedarfsfall verabreicht. Bei Kindern mit starken Schmerzen (z. B. postoperativ) verwenden wir als Morphine Piritramid, Fentanyl oder Sufentanil. Eine vorbestehende Behandlung mit den Benzodiazepinen Midazolam oder Lorazepam wurde bei schon bestehender Medikation, auch unter dem Wissen einer zentralen Muskel relaxierenden Wirkung, niedrig dosiert fortgeführt. Gute Erfahrungen haben wir mit Chloralhydrat gemacht. Propofol und Ketanest verwenden wir zur Langzeit-Analgosedierung nur als Reservemedikation.

Unsere im Vergleich zur Literatur [5] höheren Zahlen an sekundären Intubationen sind durch die 3 Patienten bedingt, die zusätzlich ein ALI oder ARDS aufwiesen. Bei diesem Krankheitsbild wird in der Regel in der pädiatrischen Intensivmedizin eine primäre Intubation durchgeführt. Für die Patienten 9 und 11 stand uns nur das oben erwähnte konstant Flow-Gerät Vital-Flow 100 mit ausschließlicher CPAP-Beatmung zur Verfügung. Diese Option schien uns trotzdem gerechtfertigt, mit dem Wissen um die Komplikationen, die eine invasive Beatmung bei Kindern mit einer hämatologischen Erkrankung mit sich bringen kann. Aber auch bei Patient 21 mit einem ARDS war eine sekundäre Intubation nötig. Bei diesem Patienten kam es nach Initiierung der NIV im ASV-Modus unter einem FiO_2 von 0,7 zu einem Anstieg des PaO_2 von 88,2 auf 119 mmHg bei PaCO_2 -Werten um 40 mmHg und einem pH über 7,35. Nach 90 min kam es zum Abfall des PaO_2 auf 55 mmHg, der auch unter Erhöhung des PEEPs nicht reversibel war, so dass eine sekundäre Intubation notwendig wurde. Im weiteren Verlauf wurde der Patient bei einem hypoxämischen Lungenversagen 6 h zusätzlich mit NO beatmet, worunter sich die Oxygenierung zügig verbesserte. Es ist zu diskutieren, ob bei dem Patienten nach Abfall des PaO_2 eine unmittelbare Intubation oder der Versuch einer nicht-invasiven NO-Beatmung hätte durchgeführt werden müssen, ohne durch Veränderung des PEEPs noch auf eine Verbesserung der respiratorischen Situation zu hoffen. In der Literatur wird ein Zeitfenster von 1 h empfohlen [12, 13], in der eine Verbesserung der respiratorischen Parameter eingetreten sein sollte. Größere Studien oder Fallzahlen für die NIV bei Kindern mit ALI oder ARDS existieren nicht.

Pneumonien waren das größte Patientenkollektiv (44%), welches nicht-invasiv beatmet wurde. In der Literatur finden sich bei Erwachsenen keine einheitlichen Bewertungen bezüglich einer Verringerung der Intubationsrate oder der Aufenthaltsdauer auf einer Intensivstation. Die Arbeiten von Confalonieri et al.

[14], Declaux et al. [15] und Becker et al. [13] weisen dies bezüglich keine einheitlichen Ergebnisse auf. Dies zeigen auch unsere Daten. Von den 11 Patienten mit Pneumonie hatten 2 zusätzlich ein ALI oder ARDS und 1 Patient wurde palliativ nicht-invasiv beatmet. Von den übrigen 8 Patienten mussten 2 (Patienten 8 und 10) intubiert werden, was einem Anteil von 25% entspricht. Da uns für diese Patienten nur eine CPAP-Beatmung zur Verfügung stand, muss die Zukunft beweisen, ob eine Verringerung der Intubationen durch eine zusätzliche druckunterstützende Beatmung wie bei den Patienten 18 und 23 erreicht werden kann.

Atelektasen bilden eine weitere wichtige Indikation für die NIV. Bei den 4 Patienten, bei denen Atelektasen die alleinige Indikation zur NIV waren, reichte eine Rekrutierung mittels CPAP aus.

Von den 3 Patienten (Patienten 13, 21 und 22) mit Lungenödem, musste ein Patient intubiert werden, der zusätzlich ein ARDS entwickelte. Die beiden anderen Patienten mit unterschiedlicher Genese des Lungenödems profitierten von einer CPAP-Beatmung. Die Therapie des Lungenödems mittels CPAP wird auch in Literatur für Erwachsene empfohlen [2, 17, 18].

Eine Patientin (19 und 23) wurde auf unserer Station zwei Mal nicht-invasiv beatmet. Diese Patientin leidet an einer fortgeschrittenen Mukoviszidose mit rezidivierenden Pneumothoraces. Nachdem eine chemische Pleurodese keinen zufriedenstellenden Erfolg erbracht hatte, wurde eine operative Pleurodese durchgeführt und die Patienten im Anschluss nicht-invasiv mit dem Galileo Gold beatmet. Nach der Entlassung stellte sich die Patienten kurze Zeit später mit einer Pneumonie und respiratorischen Globalinsuffizienz vor. Das Kind wurde erneut über 13 Tage, zunächst kontinuierlich, dann intermittierend nicht-invasiv mit dem Galileo Gold bis zur Durchführung einer Lungentransplantation erfolgreich beatmet. Während der Beatmung trat erneut ein Pneumothorax auf, der drainiert werden musste.

2 Patienten (20 und 21) wurden nicht-invasiv im ASV-Modus beatmet. Erfahrungen mit diesem Modus bei der nicht-invasiven Beatmung sind in der Literatur nicht beschrieben. Beide Patienten mussten bei schweren Krankheitsbildern sekundär intubiert werden. Ob dies auch in einem anderen Modus notwendig gewesen wäre, kann zurzeit nicht beurteilt werden. Wir gehen aber davon aus, dass primär die schwere der Erkrankung und nicht der Beatmungsmodus zur Intubation führte. Hier gilt es auch in der Zukunft mit diesem Modus weitere Erfahrungen zu sammeln.

Als sehr sinnvoll hat sich die NIV als palliative Maßnahme bei unseren 4 Kindern erwiesen, die an einer hämatologischen Erkrankung oder Mukoviszidose im Endstadium litten. Mit Hilfe der NIV versuchten wir den Kindern im Rahmen ihrer Hypoxie

den Sterbeprozess subjektiv zu erleichtern. Vor allem die erhaltene Möglichkeit zur Kommunikation erschien uns besonders wichtig.

Erfreulicherweise traten bei unseren Patienten wenige schwere Nebenwirkungen auf. Patient 18 entwickelte eine Nekrose am Nasenrücken. Nach Anfertigung einer individuellen Nasenmaske für die Heimbeatmung, heilte sie unter konservativer Behandlung ab.

Patientin 23 entwickelte wie oben beschrieben einen Pneumothorax, der drainiert werden musste.

Aus unseren Erfahrungen benötigt die NIV in der Initialphase deutlich mehr Aufmerksamkeit als beim intubierten Kind und verlangt unter Umständen eine gut austrierte Sedierung. Im Verlauf sinkt aber meistens der erhöhte Personal- und Zeitaufwand vor allem bei älteren Patienten. Das Austrocknen der Schleimhäute beobachteten wir dank aktiver Atemgasbefeuchtung selten.

Eine große Gefahr stellt eine mögliche Aspiration dar und es ist nicht immer möglich den Patienten mit einer adäquaten Magensonde unter der Maske zu versorgen. Erfreulicherweise konnten wir keine Aspirationspneumonie beobachten.

Ein immerwährendes Problem ist die geeignete Auswahl an Masken. Nasenmasken verlangen eine gute Kooperation des Kindes, da der Mund geschlossen gehalten werden muss. Vorteile sind die Möglichkeiten zur verbalen Kommunikation und oralen Nahrungsaufnahme. Bei schweren respiratori-

schen Insuffizienzen bevorzugen wir initial Full-Face-Masken um PEEP-Verluste über den offenen Mund zu vermeiden.

Schlussfolgerung

Aus unserer bisherigen Erfahrung bietet die NIV in selektierten Fällen eine sinnvolle Alternative zur invasiven Beatmung. Unsere eigenen Daten und die Ergebnisse aus der Literatur weisen daraufhin, dass die NIV auch in der pädiatrischen Intensivmedizin einen wichtigen Stellenwert hat. Wir müssen aber anmerken, dass unsere Daten ohne entsprechende Kontrollgruppen kritisch zu bewerten sind. So können wir zum Beispiel nicht beurteilen, ob die 7 sekundär intubierten Patienten von einer früheren Intubation bezüglich der Letalität, Beatmungsdauer und dem Aufenthalt auf unserer Intensivstation profitiert hätten. Um den Stellenwert der NIV bei den unterschiedlichen Krankheitsbildern beurteilen zu können, bedarf es kontrollierter und randomisierter Studien. Aufgrund der geringen Fallzahlen für bestimmte beatmungspflichtige Erkrankungen im Kindesalter (z. B. ARDS) wären hier Multicenter-Studien nötig.

Unser Ziel für die Zukunft ist es, die Ausarbeitung von Indikationen und Richtlinien für die nicht-invasive Beatmung als Alternative zur konventionellen Beatmung zu fördern.

Literatur

1. Akingbola OA, Servant GM, Custer JR, Palmisano JM (1993) Noninvasive bi-level positive pressure ventilation: management of two pediatric patients. *Respir Care* 38:1092–1098
2. Burchardi H, Kuhlen R, Schönhofer B, Müller E, Criege CP, Welte T (2002) Nicht-invasive Beatmung. *Anaesthesist* 51:33–41
3. Keenan SP, Kernermann PD, Cook DJ, Martin CM, McCormack D, Sibbald WJ (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
4. Consensus conference (1999) Clinical indications for noninvasive positive pressure ventilation in chronic respiratory failure due to restrictive lung disease, COPD, and nocturnal hypoventilation – a consensus conference report. *Chest* 116:521–534
5. Teague WG (2003) Noninvasive ventilation in the pediatric intensive care unit for children with acute respiratory failure. *Pediatric Pulmonology* 35:418–426
6. Kollef MH (1999) Avoidance of tracheal intubation as a strategy to prevent ventilator-associated pneumonia. *Intensive Care Med* 25:553–555
7. Nava S, Ambrosino N, Clini 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
8. Otis AB, Fenn WO, Rahn H (1950) Mechanics of breathing in man. *J Appl Physiol* 2:592–607
9. 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
10. Teague WG, Lowe E, Dominick J, Lang D (1998) Non-invasive positive pressure ventilation (NPPV) in critically ill children with status asthmaticus. *Am J Respir Crit Care Med* 157:542
11. Akingbola OA, Simakajornboon N, Hadley JEF Jr, Hopkins RL (2002) Noninvasive positive-pressure ventilation in pediatric status asthmaticus. *Pediatr Crit Care Med* 3(2):181–184
12. British Thoracic Society Standards of Care Committee (2002) Non-invasive ventilation in acute respiratory failure. *Thorax* 57:192–211

13. Becker HF (2002) Akute respiratorische Insuffizienz. In: Becker HF, Schönhofer H, Burchardi H. Nicht-invasive Beatmung, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, S 55–79
14. Confalonieri M, Potena A, Carbone G et al (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
15. Delclaux C, L'Her E, Alberti C et al (2000) Treatment of acute hypoxemic nonhypercapnic respiratory insufficiency with continuous positive airway pressure delivered by a face mask: a randomized controlled trial. *JAMA* 284:2352–2360
16. Becker HF, von Bierbrauer A, Jerrentrup A, von Berswordt D, von Wichert P (2000) Nicht-invasive Beatmung bei schwerer Pneumonie. *Intensivmedizin und Notfallmedizin* 387
17. Väisänen IT, Räsänen J (1987) Continuous positive airway pressure and supplemental oxygen in the treatment of cardiogenic pulmonary edema. *Chest* 92:481–485
18. Pang D, Keenan SP, Cook DJ et al (1998) The effect of positive pressure airway support on mortality and the need for intubation in cardiogenic pulmonary edema: a systematic review. *Chest* 114:1185–1192