

Somnologie 2020 · 24:159–167
<https://doi.org/10.1007/s11818-020-00261-w>
Online publiziert: 14. August 2020
© Der/die Autor(en) 2020



Adnan Maarouf^{1,2} · Ulrike Domanski¹ · Maik Schröder³ · Karl-Josef Franke^{2,4} · Georg Nilius^{2,3,5}

¹Vamed Klinik Hagen Ambrock, Ambrock, Deutschland

²Universität Witten-Herdecke, Witten-Herdecke, Deutschland

³Kliniken Essen-Mitte, Essen, Deutschland

⁴Klinikum Lüdenscheid, Lüdenscheid, Deutschland

⁵Klinik für Pneumologie, KEM, Evang. Kliniken Essen-Mitte gGmbH, Essen, Deutschland

Respiratorische Ereigniserkennung unter nichtinvasiver Beatmung (NIV) in Abhängigkeit von der genutzten Flowmessung

Vergleich einer rein druckbasierten versus einer gerätebasierten Flowmessung

Hintergrund

Die Einstellung auf eine nichtinvasive Beatmung (NIV) bei chronischem hyperkapnischem Atemversagen stellt sich häufig als ein komplexer Prozess dar. Die Grunderkrankung, zentrale und obstruktive Atemstörungen überlagern sich, dazu kommen Anpassungsprobleme seitens des Patienten. Aber auch ineffektive Atembemühungen bei Fehltriggerungen oder Autotriggerungen und unerwünschte Leckagen können auftreten und eine Verschlechterung des Gasaustauschs bewirken.

Die Polysomnografie (PSG) ermöglicht eine integrative Analyse von Schlaf, Atmung und Gasaustausch. Jedoch ist die Bedeutung dieser Methode für die Einstellung auf eine NIV nicht ausreichend durch Studien belegt. Insbesondere die Messung des Atemflusses gestaltet sich unter einer NIV schwierig, da eine gewünschte Leckage (Maskenport) zwangsläufig auftritt und die Druckschwankungen zwischen In- und

Expiration berücksichtigt werden müssen. Wegen fehlender Normierungen der Schnittstellen der Ventilatoren werden oftmals Druck-/Flow-Monitore für die Messung des Atemflusses genutzt, ohne dass diese Methoden gut validiert sind.

Die nächtliche nichtinvasive Beatmungstherapie (NIV) hat sich als wesentliche Innovation in der Behandlung von Patienten mit einem chronischen hyperkapnischen Atemversagen etabliert [2, 4, 22]. Neuromuskuläre Erkrankungen, komplette Zwerchfellparesen, eine Skoliose oder schwere Thoraxwanderkrankungen können der Störung zugrunde liegen, aber auch ein Obesitas-Hypoventilationssyndrom oder eine chronische obstruktive Lungenerkrankung (COPD) sind als mögliche Ursachen der Hyperkapnie zu nennen [27]. Allen genannten Störungen gemeinsam ist, dass Schlaf insbesondere REM-Schlaf [7, 8] die vulnerable Phase für den Beginn und im Verlauf für die Ausprägung der alveolären Hypoventilation darstellt. Im Verlauf der Erkrankungen generalisiert die Hypoventilation infolge von Anpassungsvorgängen der Atmungssteuerung zunehmend vom Schlaf in

den Wachzustand [19]. Dem Phänomen Hyperkapnie können in jedem individuellen Einzelfall Kombinationen von verschiedenen Störungen zugrunde liegen. Neben den Veränderungen der Compliance von Lunge und Thoraxwand spielen zunehmende Ventilations-/Perfusionsverteilungsstörungen insbesondere bei COPD-Patienten eine wichtige Rolle. Im Schlaf treten darüber hinaus noch repetitive Kollapszustände der oberen Atemwege auf. Die Summe bzw. die Kombination der Störungen bedingt die Ausprägung der Hypoventilation. Daher bedarf jeder Patient einer individuellen exakten Diagnostik.

Die Auswirkungen der verschiedenen Beatmungstechniken auf den Gasaustausch sind bisher wenig untersucht. Typischerweise wird die nichtinvasive Beatmung über eine dicht schließende Maske appliziert. Während für die Einleitung einer vergleichsweise einfachen Positivdrucktherapie bei der obstruktiven Schlafapnoe (OSA) klare Vorgaben verschiedener internationaler Fachgesellschaften vorliegen, finden sich für die Einstellung einer NIV weniger Empfehlungen. Insbesondere fehlen bisher

systematische Erfassungen verschiedener Auswirkungen der NIV auf die Schlafqualität oder Vorgaben für eine Optimierung der Beatmungseinstellung. Die meisten Studien zur nichtinvasiven Beatmung einer chronischen respiratorischen Insuffizienz formulierten Endpunkte wie Kohlendioxidwerte, Lebensqualität oder Mortalität. Der Effekt der nichtinvasiven Beatmung auf die Schlafqualität wurde viel seltener wissenschaftlich untersucht [11]. Es wurde bereits in mehreren Studien über verschiedene schlafbezogene respiratorische Ereignisse unter Bi-Level-Therapie, wie obstruktive oder zentrale Apnoe/Hypopnoe (AH), Leckage und Patient-Ventilator-Asynchronität berichtet [3, 5, 10, 16, 23]. Da solche residuellen Ereignisse unter Bi-Level-Therapie einen negativen Effekt auf die Schlafqualität, den alveolären Gasaustausch, das Überleben und die Akzeptanz der NIV haben können [9, 13, 14, 25], wäre eine Methode zur Erfassung dieser Ereignisse wünschenswert. In vielen Zentren werden bei der Einstellung bzw. Optimierung der Beatmungsparameter einer Bi-Level-Therapie lediglich die Grunderkrankung, die Akzeptanz des Patienten sowie eine Absenkung der Hyperkapnie berücksichtigt. Schlafbezogene Atmungsstörungen erfahren dabei keine Beachtung. Die S2-Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP) zur Beatmungstherapie der chronischen ventilatorischen Insuffizienz empfiehlt sowohl für die Diagnostik als auch für die Kontrolle der Beatmungseinstellung die Polygrafie (PG) oder die Polysomnografie (PSG) [27]. Die manuelle Bewertung der respiratorischen Ereignisse der Signale aus der PSG/PG bei Patienten unter NIV benötigt viel Zeit und Erfahrung und gehört zu den anspruchsvollsten Aufgaben in der Analyse schlafbezogener Atmungsstörungen. Zudem bestehen bezüglich der Messtechnik erhebliche Unklarheiten. Die Interpretation der PSG-/PG-Atemsignale unter einer NIV weicht deutlich von dem ab, was u. a. im Manual der American Academy of Sleep Medicine (AASM) insbesondere für Flusssignale für die Erkennung von Apnoen und Hypopnoen als Kriterien

bei Spontanatmung festgelegt wurde [6]. Es wird in den aktuellen AASM-Leitlinien empfohlen, für die Kontrolle der respiratorischen Ereignisse unter NIV das Flussignal aus dem PAP-Gerät mit den Standard-PSG-Signalen als Standardsignal zu nutzen. In der Praxis ist jedoch infolge fehlender Normierungen von Schnittstellen die Einbindung der Respiratoren in die PSG erschwert und unterbleibt daher häufig. Dagegen ist ein Druck-/Flow-Monitor sehr viel einfacher anzuwenden.

Ziel dieser Studie ist der Vergleich eines Druck-/Flow-Monitors mit den reinen Atemanstrengungs(Effort)-basierten Signalen und den Signalen aus den Schnittstellen der Beatmungsgeräte hinsichtlich der Erkennung sowohl von Apnoen/Hypopnoen als auch von NIV-spezifischen Ereignissen (Definition s. unten) in der PSG.

Material und Methoden

Studiendesign und Patienten

Retrospektiv wurden 20 Aufzeichnungen von Patienten unter NIV, die unter einem standardisierten Protokoll aufgezeichnet worden waren, von einer erfahrenen Untersucherin (UD) erneut verblindet ausgewertet. Die Studien waren zuvor von der Ethik-Kommission der Universität Witten/Herdecke genehmigt worden (41/2013, 93/2013 und 112/2014).

Protokoll Technische Voraussetzungen

Alle Patienten wurden erstmals auf eine NIV eingestellt. Der Einstellungsprozess erfolgte über mehrere Tage mit Maskenanpassung, Übungsphasen am Tag und mehrfachen Druckanpassungen. Vor der geplanten Entlassung erfolgte zum Abschluss des gesamten Prozesses eine PSG unter NIV. Als Aufzeichnungsplattform diente das System Alice5 der Firma Respiromics. Die Messungen erfolgten gemäß der Empfehlungen der AASM mit folgenden Ableitungen: drei EEGs, EOG und EMG Kinn und Bein, EKG, thorakale und abdominale Atemanstrengung über Induktionsplethysmografie (RIP), Sauerstoffsättigung über

Pulsoximeter (Nonin). Schnarchen wurde über ein Piezomikrofon erfasst. Der Atemfluss und der Beatmungsdruck wurden unabhängig vom Beatmungsgerät über eine Staudrucksonde gemessen (Druck-/Flow-Monitor P4, Heinen u. Löwenstein).

Folgende Beatmungsgeräte kamen zum Einsatz: Stellar 150 (ResMed), VentiMotion2 (Weinmann), Prisma 25 (Löwenstein Medical). Mit den gerätespezifischen Schnittstellen (ResMed TX-Link, Ventimotion Weinmann Analogbox, Prisma Connect) wurden die Signale Druck, Atemfluss und Leckagefluss in die PSG eingeleitet und aufgezeichnet.

Auswertung

Zunächst wurde die bestehende respiratorische Auswertung gelöscht. Anschließend erfolgten verblindet und in randomisierter Reihenfolge getrennte Auswertungen der Respiration in folgenden drei Konfigurationen:

Konfiguration 1: effortbasiert. Dargestellt waren alle Signale der Standard-PSG-Aufzeichnung: Die Atmungsanstrengungen wurden mittels Analyse der RIP-Signale von Thorax und Abdomen (getrennt und als Summensignal) dargestellt. Die Kurven wurden visuell hinsichtlich der Amplitude, Atemfrequenz und Phasenverschiebung zwischen Thorax und Abdomen bewertet. Zur Darstellung des Flows wurde das Effort-Summensignal verwendet.

Konfiguration 2: Staudruck. Zusätzlich zur Konfiguration effortbasiert wurde in dieser Konfiguration die Flowkurve, die aus dem Druck-/Flow-Monitor errechnet wurde, visuell ausgewertet und integrativ beurteilt.

Konfiguration 3: Schnittstelle. Neben der Konfiguration effortbasiert wurden die Signale aus den Beatmungsgeräten (Druck, Flow, Leckage) visuell ausgewertet und zur Ereigniserkennung genutzt.

A. Maarouf · U. Domanski · M. Schröder · K.-J. Franke · G. Nilius

Respiratorische Ereigniserkennung unter nichtinvasiver Beatmung (NIV) in Abhängigkeit von der genutzten Flowmessung. Vergleich einer rein druckbasierten versus einer gerätebasierten Flowmessung

Zusammenfassung

Hintergrund. Beim chronisch hyperkapnischem Atemversagen stellt die nächtliche nichtinvasive Beatmung (NIV) die Standardtherapie dar. Die Einstellung auf die NIV erfordert jedoch viel Erfahrung. Nur eine Polysomnografie (PSG) im Schlaflabor ermöglicht die genaue Analyse von residualen Obstruktionen der oberen Atemwege, zentralen Apnoen, Triggerfehlfunktionen und Leckagen. Die Flowmessung unter NIV ist technisch jedoch nicht einfach, insbesondere da normierte Schnittstellen zur Einbindung der Respiratoren in die PSG fehlen.

Ziel der Arbeit. Vergleich eines Druck-/Flow-Monitors mit den Signalen aus den Schnittstellen der Respiratoren bezüglich der Erkennung

sowohl von Apnoen/Hypopnoen als auch von NIV-spezifischen Ereignissen in der PSG.

Methoden. Retrospektiv wurden 20 Aufzeichnungen von Patienten unter NIV, die unter einem standardisierten Protokoll aufgezeichnet worden waren, erneut verblindet ausgewertet. Es erfolgte ein Vergleich der Auswertung dreier verschiedener Verfahren der Flowmessung (effortbasiert, Staudruckmessung, Schnittstelle) hinsichtlich der Häufigkeit von respiratorischen Ereignissen.

Ergebnisse. Durch eine einfach zu integrierende Staudruckmessung mittels Druck-/Flow-Monitor waren signifikant weniger Ereignisse diagnostizierbar, als wenn der Flow über die Abdomen- und Thoraxgurte oder über die

Schnittstelle zu den Respiratoren ermittelt wurde. Auch die NIV-induzierten Ereignisse wie Fehltriggerungen oder Leckagen ließen sich nur mittels der Schnittstelle zuverlässig erkennen.

Schlussfolgerung. Eine Messung des Flows mit einem Standard Druck-/Flow-Monitor bietet keine ausreichend nachvollziehbaren Ergebnisse. Eine Einbindung des Beatmungsgeräts in die PSG über eine Schnittstelle ist daher zu fordern.

Schlüsselwörter

Apnoe · Respiratorische Insuffizienz · Hyperkapnie · Polysomnografie · Positivdruckbeatmung

Detection of respiratory events under non-invasive ventilation (NIV) depending on the type of flow measurement. Comparison of pressure-based versus ventilator-based flow measurement

Abstract

Background. Nocturnal non-invasive ventilation (NIV) is a standard therapy in chronic hypercapnic respiratory failure. Adjusting the ventilator, however, requires a high level of professional experience. Only polysomnography (PSG) in the sleep laboratory allows for thorough analysis of residual obstructions of the upper airways, central apneas, trigger failures, and mask leaks. The flow measurement under NIV is not easy from a technical point of view, especially since standardized interfaces are missing to incorporate the flow data into the PSG recording.

Objectives. Comparison of a standard combined pressure/flow monitor with the

signals derived from the respirator interfaces regarding the detection of apneas/hypopneas as well as NIV-specific events in the PSG.

Methods. In this retrospective study, 20 recordings of patients under NIV who had previously been recorded in a standardized protocol were re-evaluated in a blinded manner. We compared three different methods of flow assessment (effort-based, pressure/flow monitor, and device-interface) with regards to the incidence of respiratory events.

Results. By means of an easy to connect dynamic pressure measurement using a pressure/flow monitor, significantly fewer events could be diagnosed compared to

the effort-based or device-interface flow determination. Also, NIV-induced events like patient ventilator asynchrony and unintentional leaks could only be detected reliably when using the interface signal.

Conclusions. Measuring flow during PSG via a standard pressure/flow monitor did not provide sufficiently reliable results. The implementation of the respirator signals into the measurement via a device interface is therefore required.

Keywords

Apnea · Respiratory insufficiency · Hypercapnia · Polysomnography · Positive-pressure ventilation

Definition der respiratorischen Ereignisse

Die Ereignisdefinitionen beruhen auf den internationalen Empfehlungen [26]. Alle Kriterien beziehen sich auf eine druckkontrollierte Beatmung.

Berücksichtigt wurden alle Atmungsereignisse von mindestens 10 s Länge, die mit einem Arousal oder einer Entsättigung von mindestens 3 % verknüpft waren.

Naturgemäß ist unter einer NIV mit einer vorgegebenen Mindestatemfrequenz (T-Modus) ein Sistieren des Atemflusses nur von eingeschränkter Aussagefähigkeit für die Erkennung von Apnoen und Hypopnoen. Daher müssen die sekundären Merkmale wie die terminierenden Arousals, nachfolgende Entsättigungen sowie Merkmale der Thorax- und Abdomensignale wie Phasenverschiebung berücksichtigt werden.

NIV-spezifische Ereignisse

Neben den Ereigniskategorien Apnoen und Hypopnoen waren zusätzliche für die NIV spezifische Ereignisse definiert. Die einzelnen Ereignisdefinitionen beruhen auf publizierten Empfehlungen [15]:

Leckage Ereignis (Unintentional Leak, UL). Hierbei muss die Fähigkeit der Beatmungsmaschine, bei druckkontrollierter Beatmung eine Leckage zu kompensie-

Tab. 1 Anthropometrische Daten

N: 20	
Alter (Jahre)	56,4 ± 10,9
Körpergröße (cm)	173,5 ± 10,5
Gewicht (kg)	103,1 ± 43,7
PaCO ₂ (mm Hg) am Tag nach Beatmung	48,8 ± 11,8
FEV1 (L)	1,6 ± 1,2
FEV1 (%)	47,2 ± 27,5

ren, berücksichtigt werden. Typischerweise verkleinert sich die Druckamplitude verbunden mit einer Zunahme der Flowamplitude. Die Atemanstrengung (Effort) bleibt gleich oder wird kleiner.

Fehltriggerung (Patient-Ventilator-Asynchronität, FT). Der Grund einer Fehltriggerung kann eine Leckage sein. Im Fall eines Auftretens beider Ereignisse wurden in dieser Studie die Ereignisse der Gruppe Leckage zugeordnet. Von einer internationalen Arbeitsgruppe [21] wurde eine Differenzierung aller vorkommenden Fehltriggerungen in verschiedene Formen vorgeschlagen: Ineffective Effort, Double Triggering, Auto-Triggering, Late Cycling, Premature Cycling. In dieser Studie wurden die Ereignisse nach den publizierten Kriterien bewertet, aber lediglich als Fehltriggerung bezeichnet.

Eine Fehltriggerung wurde als Ergebnis auch markiert, wenn das Beatmungsgerät > 3-mal hintereinander mit Frequenz von 40/min. getriggert hat, ohne eine Synchronisation mit dem Effort des Patienten zu erreichen (Autotriggerung).

Ereignisindizes

IE: Ereignisindex (Apnoen/Hypopnoen und NIV-spezifische Ereignisse) anhand der Auswertung der Thorax- und Abdomensignale (Konfiguration effortbasiert).

IE_p: Ereignisindex anhand der Auswertung der Standard-PSG mit Staudrucksignal.

IE_G: Ereignisindex anhand der Auswertung der PSG und der Signale des Beatmungsgeräts.

Datenanalyse und Statistik

Die Studie diente als erste Evaluation der Ereignisdefinition beruhend auf einem Staudrucksensor und den Signalen aus der Geräteschnittstelle unter NIV, daher gab es noch keine Erfahrungswerte, auf denen eine Fallzahlabstimmung aufgebaut werden konnte.

Für alle Daten erfolgte eine deskriptive Statistik. Mittelwerte, Median und Standardabweichung wurden berechnet.

Die Ereignisindizes der verschiedenen Auswertungen (IE_E, IE_p, IE_G) wurden two-by-two korreliert (IE_E vs. IE_p, IE_E vs. IE_G, IE_p vs. IE_G). Zudem wurden Bland-Altman-Plots erstellt.

Als Hauptzielparameter wurde ein kumulierter Ereignisindex gewählt. Sekundäre Zielparameter waren die einzelnen Ereignisse jeder Methode.

Patienten

Es wurden 20 Patienten (3 Frauen) in die Studie eingeschlossen. Die anthropometrischen, Lungenfunktions- und PaCO₂-Daten am Tage sind in **Tab. 1** enthalten:

Der Indikation für die Einleitung der NIV lagen folgende Erkrankungen zugrunde: 5 Patienten litten unter einem Obesitas-Hypoventilationssyndrom, 10 Patienten unter COPD, und bei 5 Patienten erfolgte die Einstellung auf NIV aufgrund des Versagens einer Therapie mit kontinuierlichem positivem Beatmungsdruck (CPAP) bei schwerster OSA.

Die Einstellung erfolgte in der Lungenklinik Hagen-Ambrock mit drei verschiedenen Beatmungsgeräten (Stellar 100 Resmed: 8 Patienten, Weinmann VentiMotion2: 6 Patienten, Löwenstein Prisma: 6 Patienten). Es handelt sich bei allen Einstellungen um eine druckkontrollierte Beatmung. 14 Patienten wurden im S/T-Modus und 6 im Auto-Bi-Level Modus eingestellt. Die Mittelwerte der Beatmungseinstellung betragen: inspiratorischer Druck (IPAP) 18,1 ± 3,5 mbar, expiratorischer Druck (EPAP) 6,2 ± 2,2 mbar, und die Mindestatemfrequenz betrug 16,2 ± 3,7/min.

Ergebnisse

Respiratorische Ereignisse

Der Gesamt ereignisindex (EI) pro Stunde aller respiratorischen Ereignisse bestehend aus Apnoen/Hypopnoen und den NIV-spezifischen Ereignissen betrug

- in der Konfiguration effortbasiert 8,3 ± 6,5 (obstruktiv [Apnoen und Hypopnoen] 4,4 ± 5,6, zentral 3,5 ± 2,9 und NIV-spezifisch 0,4 ± 0,8),
- in der Konfiguration Staudruck 4,9 ± 3,8 (obstruktiv 2,7 ± 3,5, zentral 1,2 ± 1,6, NIV-spezifisch 1,0 ± 1,5) und
- in der Konfiguration Flowmessung über Geräteschnittstelle 8,4 ± 6,1 (obstruktiv 3,7 ± 3,9, zentral 2,3 ± 2,5, geräteinduziert 2,4 ± 3,0) (**Abb. 1**).

Die statistische Beurteilung erfolgte mittels Wilcoxon-Test und ergab für den Gesamt-EI: Staudruck vs. Schnittstelle: $p = 0,00009$; Staudruck vs. effortbasiert: $p = 0,0001$; effortbasiert vs. Schnittstelle: $p = 0,170$.

Für die Beurteilung der Übereinstimmung dieser Messmethoden wurden Bland-Altman-Plots angefertigt. Dabei erfolgte eine Auswertung hinsichtlich des Gesamt ereignisindex, aber auch getrennt nach obstruktiven Ereignissen d.h. obstruktiven Apnoen und Hypopnoen, zentralen Ereignissen (jeweils Apnoen und Hypopnoen) und NIV-spezifischen Ereignissen (Siehe **Abb. 2**).

Um die Güte der Messmethoden zu beurteilen, wurden die Sensitivität, Spezifität sowie der positive und negative Vorhersagewert berechnet. Die von der AASM empfohlene Einstellung mit Einbindung der Signale aus dem NIV-Gerät wurde für die Berechnungen als Standard genutzt und die anderen beiden Verfahren dagegen verglichen. (**Tab. 2 und 3**).

Diskussion

Soweit uns bekannt ist, erfolgte in dieser Studie zum ersten Mal ein direkter Vergleich von drei verschiedenen Verfahren der Atemflussmessung im Schlaf unter PSG-Kontrolle im Rahmen einer NIV. Eine auf einer Staudruckmes-

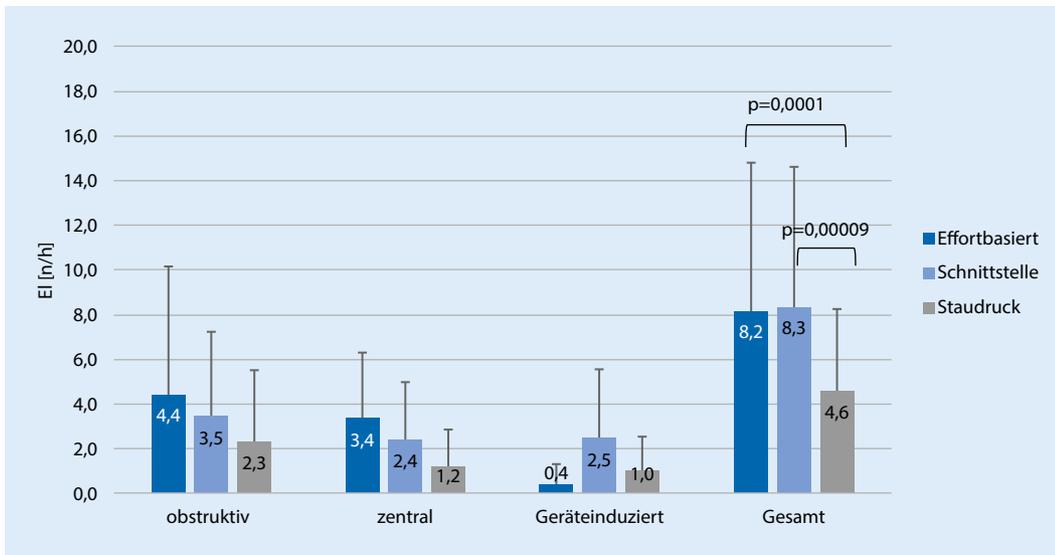


Abb. 1 ◀ Balkendiagramm der Ereignisindizes (EI) aller Messmethoden

sung beruhende Abschätzung des Flows unterschätzt die Anzahl residualer Apnoen und Hypopnoen deutlich, und NIV-spezifische Ereignisse wie Patienten-Respirator-Asynchronitäten (PVA), Fehltriggerungen und Autotriggerungen sowie Leckageassoziierte Ereignisse kön-

nen nicht erkannt werden. Auffallend ist, dass bei kompletten obstruktiven Apnoen in der Staudruckmessung ein suffizienter Atemfluss angezeigt wird, wenn gleichzeitig in der Flowmessung über die Geräteschnittstelle ein fast vollständiges Sistieren des Flows erkennbar

ist. In unserer Untersuchung wurden die ermittelten Ereignisindizes insgesamt niedriger angegeben, wenn die Flowmessung über das Staudrucksignal in der PSG-Aufzeichnung sichtbar war, als wenn eine Abschätzung des Flowsignals allein über die Thorax- und Abdomen-

Hier steht eine Anzeige.



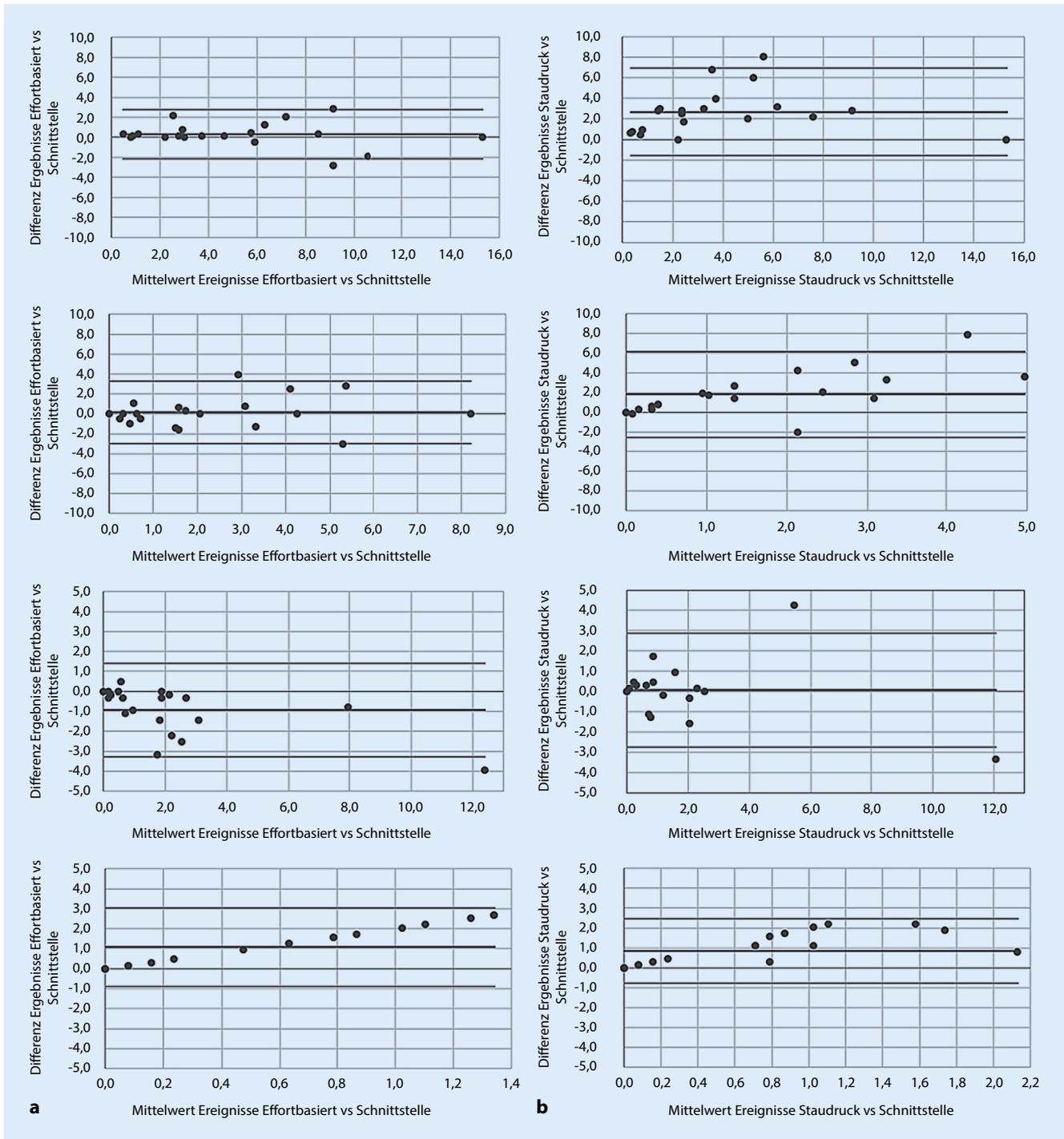


Abb. 2 ▲ Bland-Altman-Plots der Ereignisse, **a** effortbasiert vs. Schnittstelle, **b** Staudruck vs. Schnittstelle

gurt (RIP) erfolgte. Somit scheint eine Flowmessung über das Staudrucksignal den Auswerter in bestimmten Situationen in eine falsche Richtung zu lenken, anders als wenn nur die Effortsignale Thorax und Abdomen zur Verfügung stünden. Eine Flowmessung über den hier verwendeten Druck-/Flow-Monitor

scheint unter einer druckkontrollierten NIV somit vollständig entbehrlich zu sein, da die vom Respirator induzierten Druckänderungen von dem Druck-/Flow-Monitor in ein Flow-Signal umgerechnet werden, das im Falle einer kompletten Verlegung der oberen Atemwege eigentlich nicht vorhanden ist.

Wenn immer möglich ist daher eine Integration der Schnittstelle des Beatmungsgeräts in die PSG zu fordern. Nur so ist eine verlässliche Erkennung von Patienten-Respirator-Fehltriggerungen, Leckagen und residualen Atmungsstörungen wie zentralen und obstruktiven Apnoen bzw. Hypopnoen erkennbar.

Tab. 2 Flowmessung mittels Staudruck verglichen mit der Flowmessung über die Geräteschnittstelle

Ereignisse	NIV-spezifisch	Obstruktiv	Zentral	Gesamt
Sensitivität	0,11	0,17	0,59	0,48
Spezifität	0,98	0,93	0,86	0,88
Positiver Vorhersagewert	0,56	0,64	0,67	0,98
Negativer Vorhersagewert	0,83	0,61	0,82	0,14

Tab. 3 Effortbasierte Flow-Messung verglichen mit der Flow-Messung über die Geräteschnittstelle

Ereignisse	Geräteinduziert	Obstruktiv	Zentral	Gesamt
Sensitivität	0,16	0,65	0,91	0,89
Spezifität	1,00	0,74	0,75	0,46
Positiver Vorhersagewert	0,93	0,66	0,59	0,98
Negativer Vorhersagewert	0,81	0,73	0,95	0,13

Einschränkend muss auf die Stärken und die Limitationen der Studie hingewiesen werden. Die ausgewerteten Messungen erfolgten alle am Ende eines komplexen Einstellungsprozesses auf eine NIV. Teilweise waren im Rahmen dieser Einstellungen bereits PSG-Kontrollen erfolgt und Anpassungen von Beatmungsdrücken und Trigger-einstellungen vorgenommen worden. Dies könnte dazu geführt haben, dass die Häufigkeiten der hier nachgewiesenen Ereignisse im Vergleich zu anderen Studien niedrig waren [17]. Jedoch schmälert dies die Aussage hinsichtlich der Wertigkeit der Ereigniserkennung nicht. Die Auswertungen der Messungen erfolgten in einem sehr zeitaufwendigen, mehrschrittigen Prozess durch eine sehr erfahrene Untersucherin. Möglicherweise würden Untersucher mit weniger Erfahrungen durch die scheinbaren Flowkurven, ermittelt über den Druck-/Flow-Monitor, noch stärker beeinflusst, und das Ausmaß der angegebenen Atmungsstörungen könnte dann tatsächlich noch stärker abweichen.

In dieser Untersuchung wurden insgesamt drei Beatmungsgeräte eingesetzt, jedoch erfolgte die Flowabschätzung über die das Drucksignal nur mit einem Produkt. Der hier verwendete Druck-/Flow-Monitor misst die Druckschwankungen im Vergleich zum Umgebungsdruck. Aus prinzipiellen Überlegungen können diese Ergebnisse jedoch auf andere Hersteller übertragen werden, da das Messprinzip, über Druckänderungen auf appli-

zierte Volumen über eine definierte Zeit (Flow) zurückzuschließen, vergleichbar ist. Falls neue Messsysteme zur Flow- oder Volumenmessung z. B. mittels einer Differenzdruckmessung zur Verfügung stehen, ist eine Validierung dieser Systeme unbedingt zu fordern.

Die Bedeutung der Ergebnisse für die Versorgung von Patienten mit chronischem hyperkapnischem Atemversagen muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Die relevanten Untersuchungen zur Bedeutung der NIV [18, 21] zielen auf Überlebenszeiten, Lebensqualität, Gasaustausch oder Akzeptanz der NIV ab. Details zur optimalen Einstellung können aus diesen Untersuchungen nicht abgeleitet werden. Eine aktuelle Untersuchung vergleicht eine durch eine nächtliche PSG gesteuerte Einstellung mit einer rein auf die Erfahrungen am Tag beruhenden Einstellung. Patienten-Respirator-Asynchronitäten (PVA) konnten allein in der PSG-gesteuerten Gruppe erkannt und therapiert werden, jedoch verbesserten sich die Lebensqualität, der Gasaustausch und die subjektive Schlafqualität in beiden Behandlungsarmen gleich. Ob somit eine PSG-gesteuerte Einstellung für alle Patienten oder nur für eine Untergruppe von Patienten mit offensichtlichen Akzeptanzproblemen oder subjektiv verspürten Symptomen zusätzlichen Nutzen bietet, muss zukünftig geklärt werden.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen hinsichtlich der Bedeutung der Erkennung von Leckagen (UL) und

PVA weisen auf eine klinisch relevanten Verschlechterung der Schlafqualität im Sinne von erhöhtem Arousalindex, Zunahme der Schlafstadien 1 und 2 auf Kosten von Stadium 3 und REM-Schlaf [20, 24] hin, was eine Verschlechterung der Patientenakzeptanz bewirken kann. Fehltriggerungen können die Beatmungsqualität hinsichtlich der gewünschten Absenkung des PaCO₂-Wertes verschlechtern.

Als Alternative zur PSG-Kontrolle und Ergänzung steht die automatische Ermittlung eines Ereignisindex unter NIV durch verschiedene Beatmungsgerätespeicher unterschiedlicher Hersteller zur Verfügung. Diese wurden in Untersuchungen evaluiert [1, 12]. Der Stellenwert dieser Software in der Erfassung der respiratorischen Ereignisse bleibt jedoch unklar, sodass im Fall unklarer Befunde eine PSG-/PG-Messung im Schlaflabor erfolgen sollte. Zukünftig sind vergleichende Untersuchungen zur Evaluierung jedes einzelnen Respirators auf die Validität der angegebenen Ereignisindizes zu fordern.

Schlussfolgerung

Der Vergleich von drei verschiedenen Methoden zur Flowerkennung unter NIV mittels PSG im Schlaflabor zeigt, dass alleine unter Hinzunahme der Signale aus den Beatmungsgeräten mittels einer Schnittstelle eine zuverlässige Erkennung von residualen Atmungsstörungen, Leckagen und PVA möglich ist. Eine Einbindung des Respirators über eine Schnittstelle in die PSG ist daher zu fordern. Die Schlaflabore müssen sich über die Validität der eingesetzten Messinstrumente, aber auch der Angaben aus den Therapiegeräten informieren.

Damit dies in der Praxis des Schlaflabors umgesetzt werden kann, sollten von den wissenschaftlichen Fachgesellschaften normierte Schnittstellen von Herstellern gefordert werden.

Fazit für die Praxis

Eine Messung des Flows unter einer nichtinvasiven Beatmung (NIV) und Polysomnografie (PSG) ist der alleinigen Abschätzung der Atmung über die Tho-

rax- und Abdomengurte unterlegen. Nur die Einbindung des Beatmungsgeräts über eine Schnittstelle ermöglicht eine exakte Zuordnung von respiratorischen Ereignissen wie zentralen oder obstruktiven Atmungsstörungen, unerwünschten Leckagen oder Triggerfehlfunktionen. Standardisierte Schnittstellen böten für die Praxis große Fortschritte, da nur so eine zuverlässige Erkennung von respiratorischen Ereignissen unter einer NIV möglich ist.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. med. Georg Nilius
Klinik für Pneumologie, KEM,
Evangel. Kliniken Essen-Mitte
gGmbH
Am Deimelsberg 34 a,
45276 Essen, Deutschland
G.Nilius@kem-med.com

Funding. Open Access funding provided by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. G. Nilius erhielt Drittmittel zur Durchführung der klinischen Studien von Löwenstein Medical, ResMed und Fisher & Paykel Healthcare und war als Referent für die Firma Löwenstein Medical tätig. A. Maarouf, U. Domanski, M. Schröder, K.-J. Franke und G. Nilius geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen wurden mit Zustimmung der Ethik-Kommission Witten/Herdecke, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Alvarez RF, Rabec C, Rubinos Cuadrado G, Cascon Hernandez JA et al (2017) Monitoring noninvasive ventilation in patients with obesity hypoventilation syndrome: comparison between ventilator built-in software and respiratory polygraphy. *Respiration* 93:162–169
- Annan D, Orlikowski D, Chevreton S, Chevreton JC, Raphael JC (2007) Nocturnal mechanical ventilation for chronic hypoventilation in patients with neuromuscular and chest wall disorders. *Cochrane Database Syst Rev* CD001941. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001941.pub3>
- Atkeson AD, RoyChoudhury A, Harrington-Moroney G, Shah B, Mitsumoto H, Basner RC (2011) Patient-ventilator asynchrony with nocturnal non-invasive ventilation in ALS. *Neurology* 77:549–555
- Bourke SC, Tomlinson M, Williams TL, Bullock RE, Shaw PJ, Gibson GJ (2006) Effects of non-invasive ventilation on survival and quality of life in patients with amyotrophic lateral sclerosis: a randomised controlled trial. *Lancet Neurol* 5:140–147
- Crescimanno G, Canino M, Marrone O (2012) Asynchronies and sleep disruption in neuromuscular patients under home noninvasive ventilation. *Respir Med* 106:1478–1485
- Berry RB, Budhiraja R, Gottlieb DJ, Gozal D, Iber C, Kapur VK, Marcus CL, Mehra R, Parthasarathy S, Quan SF et al (2012) Rules for scoring respiratory events in sleep: update of the 2007 AASM manual for the scoring of sleep and associated events. *Deliberations of the sleep apnea definitions task force of the American Academy of Sleep Medicine. J Clin Sleep Med* 8:597–619
- Böing S, Randerath WJ (2015) Chronic hypoventilation syndroms and sleep related hypoventilation. *J Thoracic Dis* 7:1273–1285
- Douglas NJ, White DP, Pickett CK, Weil JV, Zwillich CW (1982) Respiration during sleep in normal man. *Thorax* 37:840–844
- Fanfulla F, Delmastro M, Berardinelli A, Lupo ND, Nava S (2005) Effects of different ventilator settings on sleep and inspiratory effort in patients with neuromuscular disease. *Am J Respir Crit Care Med* 172:619–624
- Fanfulla F, Taurino AE, Lupo ND, Trentin R, D'Ambrosio C, Nava S (2007) Effect of sleep on patient/ventilator asynchrony in patients undergoing chronic non-invasive mechanical ventilation. *Respir Med* 101:1702–1707
- Galetke W (2016) Nichtinvasive Beatmung und Schlaf. *Somnologie* 20:72–77
- Georges M, Adler D, Contal O, Espa F et al (2015) Reliability of apnea-Hypopnea index measured by a home Bi-level pressure support ventilator versus a polysomnographic assessment. *Respir Care* 60(7):1051–1056
- Georges M, Attali V, Gormard JL, Morélot-Panzini C, Crevier-Buchman L, Collet JM, Tintignac A, Morawiec E, Trosini-Desert V, Salachas F et al (2016) Reduced survival in patients with ALS with upper airway obstructive events on non-invasive ventilation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 87:1045–1050
- Gonzalez-Bermejo J, Morelot-Panzini C, Arrol N, Meinger V, Kraoua S, Salachas F, Similowski T (2013) Prognostic value of efficiently correcting nocturnal desaturations after one month of non-invasive ventilation in amyotrophic lateral sclerosis: a retrospective monocentre observational cohort study. *Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener* 14:373–379
- Gonzalez-Bermejo J, Perrin C, Janssens JP, Pepin JL et al (2012) Proposal for a systematic analysis of polygraphy or polysomnography for identifying and scoring abnormal events occurring during non-invasive ventilation. *Thorax* 67:546–552
- Guo YF, Sforza E, Janssens JP (2007) Respiratory patterns during sleep in obesity-hypoventilation patients treated with nocturnal pressure support: a preliminary report. *Chest* 131:1090–1099
- Hannan LM, Rautela L, Berlowitz DJ, McDonald CF, Cori JM, Sheers N, Chao C, O'Donoghue FJ, Howard ME (2019) Randomised controlled trial of polysomnographic titration of noninvasive ventilation. *Eur Respir J* 53(5):1802118
- Köhnlein T, Windisch W, Köhler D et al (2014) Non-invasive positive pressure ventilation for the treatment of severe stable chronic obstructive pulmonary disease: a prospective, multicentre, randomised, controlled clinical trial. *Lancet Respir Med* 2(9):698–705
- LoMauro A, D'Angelo MG, Aliverti A (2017) Sleep disordered breathing in Duchenne muscular dystrophy. *Curr Neurol Neurosci Rep* 17(5):44
- Meyer TJ, Pressman MR, Benditt J, McCool FD, Millman RP, Natarajan R, Hill NS (1997) Air leaking through the mouth during nocturnal nasal ventilation: effect on sleep quality. *Sleep* 20(7):561–569
- Murphy PB, Rehal S, Arbane G et al (2017) Effect of home noninvasive ventilation with oxygen therapy vs oxygen therapy alone on hospital readmission or death after an acute COPD exacerbation: a randomized clinical trial. *JAMA* 317(21):2177–2186
- Pinto AC, Evangelista T, Carvalho M, Alves MA, Sales LML (1995) Respiratory assistance with a non-invasive ventilator (Bipap) in MND/ALS patients: survival rates in a controlled trial. *J Neuro Sci* 129:19–26
- Ramsay M, Mandal S, Suh ES, Steier J, Douiri A, Murphy PB, Polkey M, Simonds A, Hart N (2015) Parasternal electromyography to determine the relationship between patient-ventilator asynchrony and nocturnal gas exchange during home mechanical ventilation set-up. *Thorax* 70:946–952
- Teschler H, Stampa J, Ragette R, Konietzko N, Berthon-Jones M (1999) Effect of mouth leak on effectiveness of nasal bilevel ventilator assistance and sleep architecture. *Eur Respir J* 14(6):1251–1257
- Vrijnsen B, Buyse B, Belge C, Vanpee G, Van Damme P, Testelmans D (2017) Randomized cross-over trial of ventilator modes during non-invasive ventilation titration in amyotrophic lateral sclerosis. *Respirology* 22:1212–1218
- Vrijnsen B, Chatwin M, Contal O et al (2015) Hot topics in noninvasive ventilation: report of a working group at the International Symposium on Sleep-Disordered Breathing in Leuven, Belgium. *Respir Care* 60(9):1337–1362
- Windisch W, Brambring J, Budweiser S et al (2010) S2-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin: Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz. *Pneumologie* 64:207–240

Hier steht eine Anzeige.

