

## » Ein neues starres Bronchoskop mit Messröhre für Druck und Kapnometrie<sup>1</sup>

A. Poblath<sup>1</sup>, G. Reichle<sup>2</sup>, G. Deimel<sup>1</sup>, B. C. Brendle<sup>1</sup>, L. Freitag<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Anästhesiologie (Chefarzt: Dr. B. C. Brendle)

<sup>2</sup> Abteilung für Pneumologie (Chefarzt: PD Dr. H.-N. Macha),  
Lungenklinik Hemer

**Zusammenfassung:** Der pulmonale Gasaustausch unter Jet-Beatmung wird üblicherweise mit Pulsoxymetrie und Blutgasanalysen beurteilt. Die Kapnometrie wird in der klinischen Praxis selten durchgeführt. Starre Bronchoskope mit Messung des Beatmungsdrucks sind nicht bekannt. Unser Ziel war die Entwicklung eines starren Bronchoskops mit einer Messröhre für die simultane online-Messung von Druck und Atemgaszusammensetzung. **Methoden:** Für die Ermittlung eines repräsentativen Messpunktes wurde die Verteilung des maximalen Inspirationsdrucks über die Länge eines starren 8 × 400 mm Bronchoskops bei Jet-Ventilation an einem Lungenmodell und an Patienten gemessen. Eine Messröhre für den Anschluss an Analysergeräte für den Atemwegsdruck und die Atemgaszusammensetzung wurde konstruiert. An einem neuen 8 × 400 mm Bronchoskop mit dieser Messröhre (R. Wolf, Knittlingen) wurden simultane Echtzeitmessungen von Druck und Atemgas durchgeführt. Der Ausgang der Messröhre wurde mit dem Druckbegrenzungsport eines Jet-Ventilators verbunden. Die Beatmung erfolgte mit konventionellen Frequenzen von 10–12 pro Minute. **Ergebnisse:** Der maximale Inspirationsdruck in einem 8 × 400 mm Bronchoskop erreicht 10 cm distal des Instrumentenports ein Plateau mit signifikanter Druckkonstanz bis in die Trachea. Im Bereich dieses Plateaus lassen sich über eine integrierte Messröhre Druck und Atemgas repräsentativ messen. Der expiratorische CO<sub>2</sub>-Wert korreliert hoch mit dem arteriellen pCO<sub>2</sub> (r = 0,96). Zur Normoventilation bei 25 Patienten während bronchologischer Eingriffe waren Jet-Drücke von 0,5 bis 3,5 bar (Median 2,5 bar) erforderlich. Die Innendrucke variierten zwischen 3 und 25 mbar (Median 15 mbar). Der Atemwegsdruck wird durch ein Fiberbronchoskop im starren Bronchoskop von im Mittel 18 auf 23 mbar erhöht. Die automatische Jet-Ab-schaltung über das Drucksignal zur Vermeidung eines Barotraumas erwies sich als praktikabel. **Schlussfolgerung:** Die simultane online Messung von Druck und expiratorischem CO<sub>2</sub> ergänzt das Monitoring bei Jet-Ventilation. Zusätzlich können druckkontrollierte Jet-Ventilatoren über die Messröhre gesteuert werden.

**A New Rigid Bronchoscope with Measuring Tube for Pressure and Gas:** **Background:** Pulmonary gas exchange under jet ventilation is usually controlled by pulse-oxymetry and blood gas analysis. Capnometry is not common in clinical use. Rigid bronchoscopes with pressure measurements are not

known. Our aim was the development of a rigid bronchoscope with a built-in tube for the online measurement of airway pressure and gas composition. **Methods:** We measured the distribution of inspiratory pressure under jet ventilation over the length inside a 8 × 400 mm rigid bronchoscope in a lung model and in patients. A measuring tube was constructed for obtaining representative values of airway pressure and capnometry. Using a prototype of a new rigid bronchoscope with the built-in measuring tube (R. Wolf Company, Knittlingen, Germany) inspiratory pressure and expiratory CO<sub>2</sub> were measured during interventional bronchoscopy. The measuring tube was connected to the pressure control port of the jet ventilator. We applied jet ventilation with frequencies of 10 to 12 pulses per minute. **Results:** The inspiratory pressure reaches after 10 cm distally the instrumental port a significant constant plateau. Via the built-in measuring tube representative measurement of pressure and gas can be made there. The correlation between arterial CO<sub>2</sub> (paCO<sub>2</sub>) and expiratory CO<sub>2</sub> (petCO<sub>2</sub>) was excellent (r = 0.96). To maintain normocapnia in 25 patients undergoing interventional bronchoscopy, the jet pressure had to be adjusted to values between 0.5 and 3.5 bar (median 2.5 bar). The responding inspiratory pressure varied from 3 to 25 mbar (median 15 mbar). A flexible bronchoscope in the working channel raises the airway pressure from 18 to 23 mbar. The automatic interruption of the jet-pulses by connecting the measuring tube to the pressure control port of the ventilator in order to prevent a barotrauma was found feasible. **Conclusions:** Simultaneous online control of airway pressure and gas is possible with the new rigid bronchoscope. Pressure depending jet ventilators can be controlled via the measuring tube to minimise the risk of barotrauma.

### Einleitung

Die starre Bronchoskopie in Allgemeinnarkose wird nicht mehr allgemein praktiziert, obwohl interventionelle Prozeduren wie Laserresektion und Stenteinlage schneller und sicherer durchgeführt werden können als mit flexiblen Endoskopen unter Lokalanästhesie [1,2]. Einer der Hauptgründe ist die Unsicherheit der Beatmung über starre Endoskope. In Spanien und Italien wird üblicherweise mit einem blockbaren Bronchoskoprohr und einem Sichtfenster gearbeitet. Die

Beatmung erfolgt mit konventionellen Beatmungsgeräten. In Frankreich atmen die sedierten Patienten meistens spontan über das Bronchoskop, zusätzlich wird Sauerstoff insuffliert. In Deutschland ist das populärste Verfahren die Jet-Ventilation mit der Methode nach Sanders [3]. Einige Anästhesisten favorisieren dabei die Hochfrequenz-Jet-Ventilation, andere beatmen mit dem Jet Normofrequent [4,5]. Während heute in jedes Beatmungs- und Narkosegerät Monitoringinstrumente integriert sind, bleibt die Jet-Ventilation bei der Bronchoskopie oft ein „Blindflug“. Der Anästhesist orientiert sich an der Thoraxexkursion, der Pulsoximetrie und Blutgasanalysen [1,6]. Verfahren für die Kapnographie haben bislang keine breite Anwendung gefunden [7,8].

Bei der bronchoskopischen Jet-Ventilation wird ein Gas unter hohem Druck in das Bronchoskoprohr eingeblasen. Der Jetstrom reisst Luft mit sich (Venturi-Effekt). Die alveoläre Ventilation ist abhängig von dem eingestellten Arbeitsdruck des Jet-Ventilators (1 bis 4 bar), den Querschnitten von Jet-Düse und Bronchoskop, der Position der Jet-Düse, der Jet-Frequenz, der Atemwegs-Resistance und der Compliance. Mit zunehmender Beatmungsfrequenz kommen Effekte wie Taylor-Dispersion und molekulare Diffusion zum Tragen [6]. Herkömmliche Gesetzmäßigkeiten und Begriffe der Atmungsphysiologie wie Totraumventilation scheinen bei der Hochfrequenz-Jet-Ventilation an Bedeutung zu verlieren. Der Beatmungseffekt wird schwerer kalkulierbar und damit steigt das Risiko einer Hypo- oder Hyperventilation [9]. Da es ein Gefälle zwischen dem Abstrahlendruck des Jets und dem Druck im Tracheobronchialsystem um bis zu zwei Zehnerpotenzen gibt, besteht theoretisch ein hohes Risiko, ein Barotrauma zu erzeugen [10,11,12].

Es gibt verschiedene Versuche, das Monitoring bei der bronchoskopischen Jet-Beatmung zu verbessern. Idealerweise sollte die Sicherheit für den Patienten aus anästhesiologischer Sicht verbessert werden, ohne dass der Endoskopiker in seiner Arbeit behindert wird. Wir haben uns an der Entwicklung eines Bronchoskops beteiligt, bei dem kontinuierlich der Inspirationsdruck und das Atemgas, insbesondere das expiratorische  $\text{CO}_2$ , gemessen werden können.

## Methode

Die Lösung der Aufgabe erfolgte in mehreren Schritten.

**Messungen:** Der Verlauf des Innendrucks über die Rohrlänge eines Bronchoskops und den anschließenden Abschnitten der Trachea unter normofrequenter Jet-Ventilation wurde an einem Lungenmodell sowie bei Patienten in der Aufwachphase nach Narkosebronchoskopien gemessen. Die Messungen sollten die Frage nach einem repräsentativen Messpunkt beantworten.

**Konstruktion:** Nach der Festlegung des Messpunktes erfolgte die Berechnung der Länge und des notwendigen Durchmessers einer Messröhre.

**Erprobung:** Nachdem uns der Industriepartner ein entsprechendes Instrument zur Verfügung gestellt hatte, wurde dieser Prototyp in der klinischen Anwendung erprobt. Dabei wurden Druck und  $\text{CO}_2$ -Spannung über die Messröhre gemessen. Die expiratorischen  $\text{CO}_2$ -Werte wurden mit Blut-

gasanalysen korreliert. Zusätzlich wurden druckgesteuerte Jet-Ventilatoren an die Messröhre angeschlossen.

**Messungen:** Ein handelsübliches starres Bronchoskop (R. Wolf, Knittlingen) mit 8 mm Innendurchmesser und 400 mm Länge wurde über eine Jet-Düse mit 2 mm Düsenbohrung und Schlauch mit dem Jet-Gerät Riwomat (R. Wolf, Knittlingen) verbunden. Zur Druckmessung wurde ein Katheter mit 10 Ch mit dem Anästhesie-Monitor Anemone (Draeger AG, Lübeck) verbunden. Der inspiratorische Maximaldruck bei einer Beatmungsfrequenz von 10/min und einem I:E-Verhältnis von 1:1 wurde in den Abständen 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 und 50 cm von der Instrumentenöffnung gemessen. Die Messungen erfolgten bei eingestellten Arbeitsdrücken von 2, 3 und 4 bar. Das Bronchoskop befand sich dabei in einem Lungenmodell, bestehend aus einer Silikonluftröhre und einem Atembalg (Draeger AG, Lübeck). Es wurden jeweils 40 Messungen durchgeführt. Der Mittelwert und die Standardabweichung wurden berechnet. In der Aufwachphase nach Narkosen zu interventionellen Bronchoskopien wurden Messungen an 10 Patienten mit 2 und 3 bar Jet-Druck durchgeführt.

**Konstruktion:** Der Abstand von der Instrumentenöffnung zum Messort, an dem repräsentativ der Inspirationsdruck gemessen werden kann, ist die Länge der Messröhre. Die Messröhre hat statische Funktionen der Druckmessung und Drucksteuerung ohne Gasfluss sowie dynamische Funktionen der Atemgasanalyse mit Gasfluss. Der Gasfluss zur Probenentnahme beträgt bei älteren Kapnographiegeräten bis zu 200 ml/min. Um den Druckabfall über dem Innenwiderstand der Messröhre bei 200 ml/min Gasfluss kleiner als 0,1 mbar zu halten, wurden Länge und Durchmesser berechnet.

**Erprobung:** An einem neuen 8 × 400 mm Bronchoskop mit Messröhre (R. Wolf, Knittlingen) wurden Druck- und Gasmessungen durchgeführt. Die Korrelation von arteriellem  $\text{CO}_2$  ( $\text{paCO}_2$ ) mit expiratorischem  $\text{CO}_2$  ( $\text{petCO}_2$ ) wurde errechnet ( $n = 10$ ). Hierzu erfolgten Blutgasanalysen des arterialisierten Kapillarbluts des Ohrläppchens und  $\text{CO}_2$ -Analysen der Ausatemluft, welche über die neue Messröhre entnommen wurde.

Zu interventionellen Bronchoskopien unter intravenöser Narkose wurden 25 Patienten mit dem HFJV-Beatmungsgerät AMS 1000 (Acutronic, Schweiz)  $f = 12$ , I:E = 1:1 beatmet. Es erfolgte die Messung der Inspirationsdrücke über die Messröhre mit dem Anästhesiemonitor Anemone (Draeger AG, Lübeck) abhängig von Jet-Druck zur Normoventilation. Die Mediane von Inspirationsdruck und Jet-Druck wurden berechnet.

Die Veränderung des Innendrucks durch Einbringen von endoskopischen Instrumenten in den Arbeitskanal des Bronchoskops wurde über die Messröhre mit dem Anästhesiemonitor Anemone (Draeger AG, Lübeck) gemessen.

Der Druckkontrollschlauch des HFJV-Beatmungsgerätes AMS 1000 (Acutronic, Schweiz) wurde an die Messröhre angeschlossen. Es sollte überprüft werden, ob der Jet-Ventilator in der Simulation und in der klinischen Anwendung über die Messröhre gesteuert werden kann.

Beschreibung: Die Messröhre mit 10 cm Länge und 1,1 mm Durchmesser hat mit dem Lumen des Arbeitskanals 14 cm vom Instrumentenport über eine Bohrung eine Verbindung und endet in einem Luer-Ansatz. An die Messröhre sind die Messgeräte für den Druck und die Kapnometrie sowie die Drucksteuerung für den Jet-Ventilator über einen kurzen Schlauch und 3-Wege-Hähne angeschlossen. Damit sind die Messungen von Druck und Atemgas sowie die Jet-Steuerung zeitgleich, online und nicht invasiv möglich (Abb. 1).

### Ergebnisse

Die Messungen der Verteilung des Inspirationsdrucks im starren Bronchoskop an der künstlichen Lunge ergaben einen biphasischen Verlauf mit Plateau. An der Instrumentenöffnung ist der Druck 0 mbar. Zunächst sinkt der Innendruck durch den Venturi-Effekt, Raumluft wird über den Arbeitskanal des Bronchoskops mitgerissen. Im Abstand von 3 cm von der Instrumentenöffnung erreicht der Inspirationsdruck bei einem Arbeitsdruck des Jet-Ventilators von 2 bar einen negativen Maximalwert von -3 mbar und bei einem Arbeitsdruck des Jet-Ventilators von 4 bar einen Inspirationsdruck von -11 mbar. Im weiteren Verlauf steigt der Innendruck im Bronchoskop und erreicht im Abstand von 10 cm von der Instrumentenöffnung ein Plateau, das bis in die Trachea signifikant stabil bleibt ( $p=0,001$ , H-Test nach Kruskal und Wallis; Abb. 2). An der Testlunge ergab sich bei 2 bar Arbeitsdruck des Jet-Ventilators ein Plateaudruck von  $11 \pm 1$  mbar und bei einem Arbeitsdruck des Jet-Ventilators von 4 bar ein Plateaudruck von  $25 \pm 3$  mbar (Abb. 2).

An Patienten ergaben die Messungen des Inspirationsdrucks einen ähnlich ansteigenden Druckverlauf, der ebenfalls im Abstand von 10 cm von der Instrumentenöffnung ein Plateau von 7 mbar bei 2 bar Arbeitsdruck des Jet-Ventilators und 13 mbar bei 3 bar Arbeitsdruck des Jet-Ventilators erreichte. Die Werte des Inspirationsdrucks bleiben bis in die Trachea

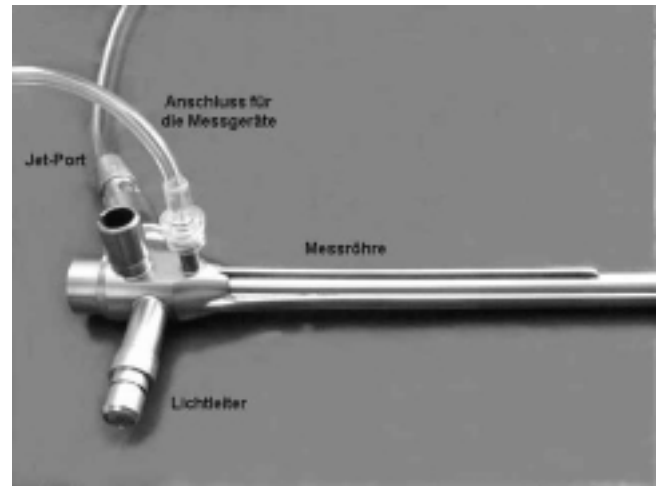


Abb. 1 Fotografie vom neuen starren Bronchoskop mit Messröhre

signifikant stabil ( $p=0,001$ , H-Test nach Kruskal und Wallis; Abb. 2) [21].

Die Messungen des Innendrucks am neuen Bronchoskop mit Messkanal zeigen ebenso ein Plateau nach 10 cm Abstand von der Instrumentenöffnung (Abb. 3).

### Berechnung der Messröhre

Der inspiratorische Druck hat bei den Messungen sowohl an künstlicher Lunge als auch an Patienten nach 10 cm von der Instrumentenöffnung ein Plateau erreicht. Wir haben einen Punkt im Abstand von 14 cm für die Messung von Innendruck und Atemgas bestimmt. Nach dem Hagen-Poiseuille-Gesetz wurde der Durchmesser der Messröhre bei einer Länge von 10 cm und einem Gasfluss zur Atemgasanalyse von 200 ml/

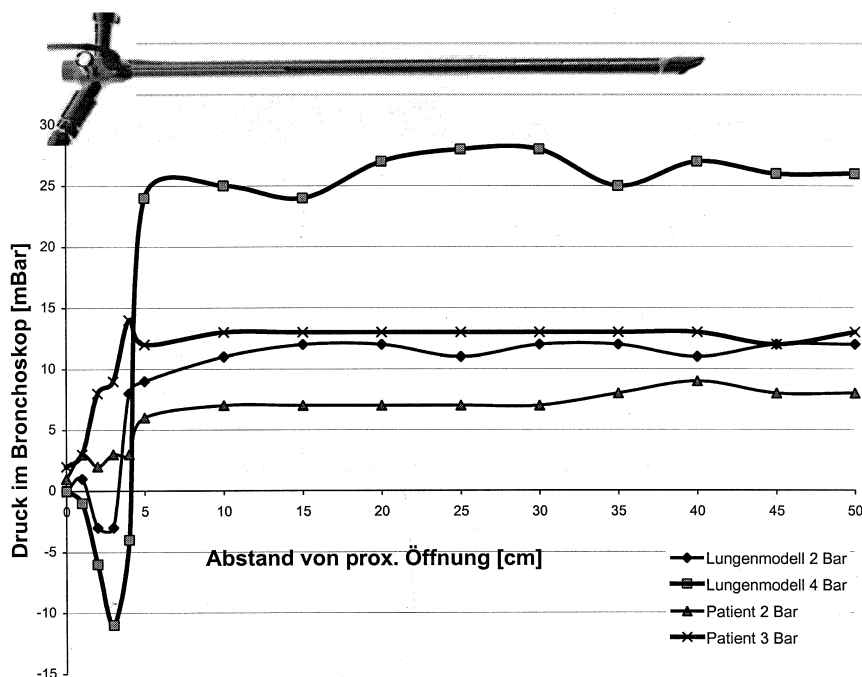
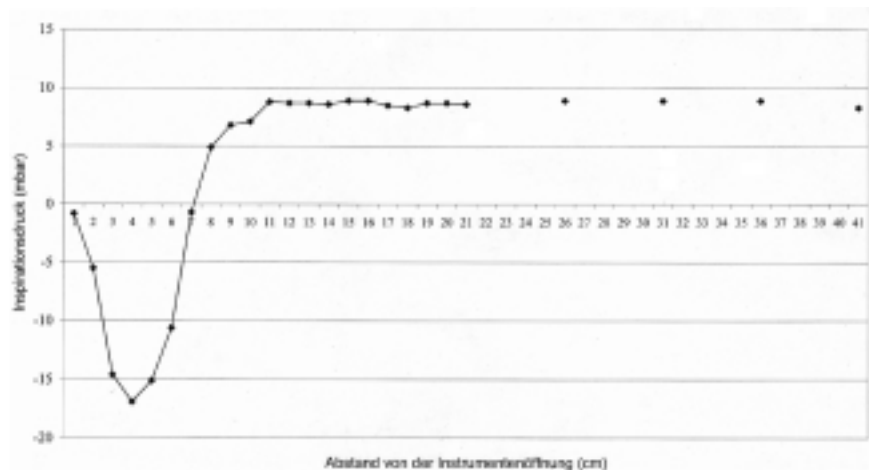
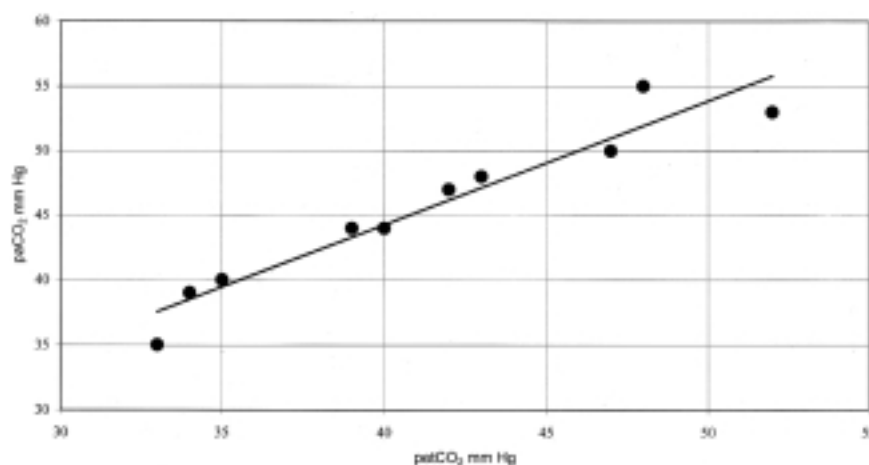


Abb. 2 Verlauf des Inspirationsdrucks an künstlicher Lunge und Patienten



**Abb. 3** Verlauf des Inspirationsdrucks am neuen starren Bronchoskop



**Abb. 4** Korrelation von paCO<sub>2</sub> mit petCO<sub>2</sub> gemessen über die Messröhre

min mit 1,1 mm berechnet, um den Druckabfall über dem Innenwiderstand kleiner als 0,1 mbar zu halten (Abb. 1).

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten der Messwerte von 10 Patienten von paCO<sub>2</sub> aus der kapillären Blutgasanalyse und petCO<sub>2</sub> aus der Expirationsluft ergibt r = 0,96 (Abb. 4).

25 Patienten wurden zu Beginn von Narkosebronchoskopen mit 2 bar Jet-Druck beatmet. Zur Normoventilation konnte bei 2 Patienten die Jet-Beatmung mit 2 bar fortgeführt werden. Ein Inspirationsdruck im starren Bronchoskop von 11 mbar (Mittelwert) wurde gemessen. Bei 14 Patienten musste der Jet-Druck erhöht werden, bei einem Patienten auf 3,5 bar, ein Inspirationssdruck von 25 mbar war zu messen. Bei 8 Patienten konnte der Jet-Druck unter 2 bar gesenkt werden, bei

einem Patienten auf 0,5 bar. Bei diesem Patienten war ein Inspirationsdruck von 3 mbar zu messen. Der Median des Jet-Drucks war 2,5 bar, der Median des Inspirationsdrucks 15 mbar (Tab. 1) [22].

In einer weiteren Serie von Messungen wurden an 20 Patienten die Änderungen des Inspirationsdrucks durch Einbringen von flexiblen Bronchoskopen oder starren Optiken in das Lumen gemessen. Bei 0,5 bar Jet-Druck hat der Inspirationsdruck einen Mittelwert von 5 mbar. Durch Einbringen eines flexiblen Bronchoskops mit 6,2 mm Durchmesser steigt der Inspirationsdruck signifikant auf 6,7 mbar (p = 0,0001<sup>2</sup>) und durch Einbringen einer starren Optik mit einem Durchmesser von 5,8 mm signifikant auf 5,8 mbar (p = 0,0001<sup>2</sup>). Bei 2 bar Jet-Druck ist der Inspirationsdruck im starren Bronchoskop 17 mbar. Ein flexibles Bronchoskop im Lumen erhöht den Druck signifikant auf 23 mbar (p = 0,0001<sup>2</sup>), eine starre Optik auf 26 mbar (Abb. 5; p = 0,0001<sup>2</sup>) [21].

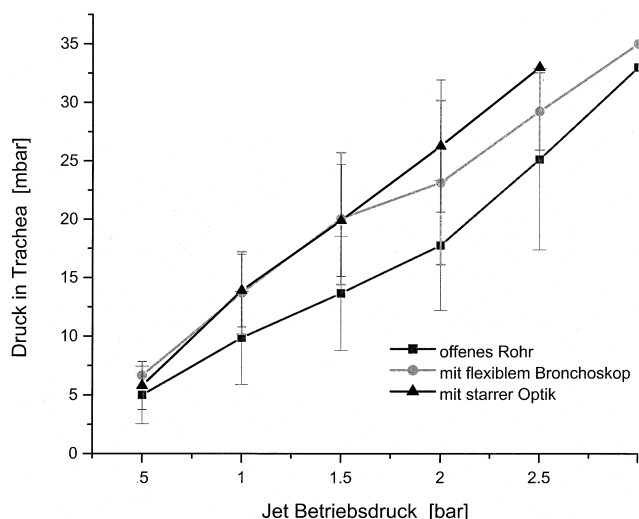
**Tab. 1** Jet-Druck und Inspirationsdruck zur Normoventilation an 25 Patienten

Jet-Druck (bar)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Anzahl Patienten	1	4	3	3	5	8	1
Mittelwert des Inspirationsdrucks (mbar)	3	5,5	12	11	15	22	25

Der Median des Jet-Drucks beträgt 2,5 bar, der Median des Inspirationsdrucks 15 mbar.

Das HFJV-Beatmungsgerät AMS 1000 (Acutronic, Schweiz) wurde mit dem Anschluss für die inspiratorische Drucküberwachung an die Messröhre angeschlossen. Dieser Jet-Ventila-

<sup>2</sup> U-Test nach Wilcoxon, Mann und Whitney



**Abb. 5** Einfluss des Arbeitsdrucks und der eingeführten Instrumente auf den endotrachealen Druck

tor misst den maximalen Inspirationsdruck im starren Bronchoskop und schließt bei Überschreiten eines vorher eingestellten Wertes das Ventil. Im Experiment wurde durch Verschließen der Patientenöffnung der Innendruck unter Jet-Ventilation erhöht, und das HFJV-Beatmungsgerät AMS 1000 hat bei Drucküberschreitung das Ventil abgeschaltet wie auch an Patienten, wenn die Drucküberschreitung durch Einbringen eines flexiblen Bronchoskops in den Arbeitskanal erreicht wurde. Hierzu ist das Limit für den maximalen Inspirationsdruck teilweise auf Werte von 10 bis 20 mbar eingestellt worden.

### Diskussion

Die starre Bronchoskopie in Allgemeinnarkose hat ihre Berechtigung bei therapeutischen Prozeduren, sie ist sicherer und schneller als die Fiberglasbronchoskopie unter Lokalanästhesie. Für den Endoskopiker, dessen Aufgabe beispielsweise darin besteht, eine Blutung zu stillen, einen Tumor zu verkleinern oder einen Fremdkörper zu entfernen, ist die Verwendung eines starren Bronchoskops mit Jet-Ventilation optimal. Dieses Verfahren ermöglicht ihm ein schnelles Arbeiten mit unbehindertem Instrumentenzugang. Zangen, Laser-, Elektrokauter-, Kryosonden usw. können eingeführt werden, ohne dass er sich um die Beatmung kümmern muss. Für den Anästhesisten ergeben sich bei der offenen Jet-Ventilation allerdings Probleme durch mangelndes Monitoring mit dem Risiko einer unbemerkten Hypo- oder Hyperventilation. Stets besteht die Möglichkeit eines Barotraumas [1,6,10,11].

Neben der Pulsoxymetrie wird durch Messungen von Kohlendioxid der pulmonale Gasaustausch unter Jet-Ventilation beurteilt [1,7,8,13,14,15]. Verschiedene Methoden zur Messung des expiratorischen  $\text{CO}_2$  sind beschrieben [7,8,9,16,17,18,19]. Klein u. Mitarb. kommt das Verdienst zu, ein marktfähiges starres Bronchoskop mit integriertem Messkanal für die distale Beprobung des Atemgases zur  $\text{CO}_2$ -Analyse entwickelt zu haben [7]. Die Messungen von  $\text{petCO}_2$  werden bei Jet-Frequenzen von 10 bis 15 pro Minute oder einzelnen Atemzü-

gen durchgeführt [7,14,16,17]. Wir bevorzugen die normfrequente Jet-Ventilation mit Frequenzen von 10 bis 15, welche bei allen Messungen dieser Untersuchung angewendet wurde.

Korrelationskoeffizienten von  $\text{petCO}_2$  und  $\text{paCO}_2$  sind von 0,75 bis 0,94 beschrieben [7,14,16,17,18]. Wir haben einen Korrelationskoeffizienten von 0,96 bei unseren Messungen mit dem neuen starren Bronchoskop während Jet-Ventilation zur interventionellen Bronchoskopie an lungenkranken Patienten errechnet (Abb. 4). Die Ursache für die Unterschiede kann im Ort der Gasprobenentnahme liegen. Klein et al. (1995) und Frietsch et al. (2000) beproben das Atemgas zur  $\text{petCO}_2$ -Messung am distalen Ende eines starren Bronchoskops, Ausatemluft kann ungemessen durch die Seitenschlitze entweichen [7,9]. Die Atemgasbeprobung 14 cm von der Instrumentenöffnung durch die Messröhre des neuen starren Bronchoskops liefert  $\text{petCO}_2$ -Werte, die hoch mit den  $\text{paCO}_2$ -Werten korrelieren ( $r = 0,964$ ).

Der Druck in verschiedenen Höhen der Trachea und der Bronchien ist identisch mit dem Druck, der über dem Messkanal eines Hi-Lo-Jet-Tubus gemessen wurde [15]. Somit ist es möglich, den Druck während der Jet-Ventilation repräsentativ für verschiedene Abschnitte der Lungen und Bronchien an einem Punkt zu messen. Unterschiedliche Auffassungen bestehen über die Lokalisation des Messpunktes für den Druck. Nach Aloy und Schragl (1995) soll die Beatmungsdruckmessung mindestens 10 cm distal der Jet-Düsenöffnung erfolgen [6]. Wir haben nach 10 cm von der Instrumentenöffnung das Plateau des Druckverlaufs ermittelt und im Bereich dieses Plateaus einen Punkt für die Druckmessung festgelegt (Abb. 2 und 3). Hier weist die Strömung des Atemgases im Inneren des Bronchoskops keine „Jet-Charakteristik“ mehr auf, die durch Gasgeschwindigkeit, Venturi-Effekt und Entrainment bestimmt wird [6].

Inspiratorische Spitzendrücke sind abhängig vom Jet-Druck und liegen bei 2 bar Jet-Druck zwischen 9 und 13 mbar [15,20]. Wir haben bei 2 bar Jet-Druck Inspirationsdrücke von 7 bis 17 mbar gemessen (Abb. 2 und 3, Tab. 1). Der Median des Jet-Drucks zur Normoventilation lag bei 25 Patienten dieser Untersuchung bei 2,5 bar. Er liegt zwischen 1,5 und 4 bar, wie von Studer et al. (2000) beschrieben wird [1]. Hieraus leiten wir die Empfehlung ab, an erwachsenen Patienten eine Jet-Beatmung mit 2,5 bar zu beginnen und nach Erhalt der ersten Messwerte von  $\text{petCO}_2$  den Jet-Druck zu korrigieren. Bei einem Jet-Druck von 2,5 bar ist ein Inspirationsdruck von 15 mbar zu erwarten.

Das Einbringen von flexiblen Bronchoskopen oder starren Optiken erhöht den Innendruck. Ihra et al. (1999) beschreiben einen geringgradigen Anstieg des inspiratorischen Spitzendrucks durch das Einführen eines flexiblen Bronchoskops mit 3,6 mm Durchmesser [20]. Bei interventioneller Bronchoskopie und Jet-Ventilation haben wir bei 2 bar Jet-Druck durch das Einbringen eines flexiblen Bronchoskops mit 6,2 mm Durchmesser in den Arbeitskanal einen signifikanten Anstieg des Inspirationsdrucks von 17 mbar auf 23 mbar gemessen ( $p = 0,0001^3$ ). Durch eine starre Optik mit 5,8 mm Durch-

<sup>3</sup> U-Test von Wilcoxon, Mann und Whitney

messer erhöht sich der Inspirationsdruck auf 26 mbar (Abb. 5). Ein Patient hat unter 3 bar Jet-Druck und einem flexiblen Bronchoskop im Arbeitskanal einen Inspirationsdruck von 35 mbar (Abb. 5) [21].

Hyperkapnien, die eine Erhöhung des Jet-Drucks erforderten, hatten 23% von Patienten unter Jet-Ventilation [19]. Wir mussten bei 14 von 25 Patienten während interventioneller Bronchoskopien den Jet-Druck zum Abwenden von Hyperkapnien erhöhen. Bei einem Patienten in dieser Serie war ein Jet-Druck von 3,5 bar erforderlich. Der resultierende Inspirationsdruck betrug 25 mbar. Im Gegensatz dazu zeigen die Messungen auch, dass ein Jet-Druck von 0,5 bar bei Erwachsenen mit Lungenkrankheiten zur Jet-Ventilation ausreichend sein kann (Tab. 1).

Von der Messröhre aus über eine kurze großlumige Schlauchverbindung und Aufteilung über 3-Wege-Hähne werden die Messgeräte für den Druck und die Kapnometrie sowie die Überwachung des maximalen Inspirationsdrucks des HFJV-Beatmungsgerätes AMS 1000 über Schläuche angeschlossen (Abb. 1). Die Drucksteuerung funktioniert simultan zu den Messungen von Druck und Atemgas über die Messröhre. Somit verbessert das neue starre Bronchoskop die Sicherheit der interventionellen Bronchoskopie unter Jet-Ventilation.

### Danksagung

Wir danken der Fa. Richard Wolf, Knittlingen, insbesondere den Herren Hecke und Hähne.

### Literatur

- 1 Studer W, Bolliger CT, Biro P. Anesthesia for interventional bronchoscopy. In: Bolliger CT, Mathur PN (Hrsg.) *Interventional Bronchoscopy*. Prog Respir Res. Basel: Karger, 2000; Vol 30: 44–54
- 2 Reichle G, Freitag L, Kullmann H-J, Prenzel R, Macha H-N, Farin G. Argon plasma coagulation in bronchology: A new method – alternativ or complementary. *Journal of Bronchology*, 2000; 109–117
- 3 Sanders RD. Two ventilating attachments for bronchoscopes. *Del Med J* 1967; 39: 170–192
- 4 Smith RB. Ventilation at high respiratory frequencies. High frequency positive pressure ventilation, high frequency jet ventilation and high frequency oscillation. *Anaesthesia* 1982; 37: 1011–1018
- 5 Fischler M, Seigneur F, Bourreli B, Melchior JC, Lavaud C, Vourc'h G. Jet ventilation using low or high frequencies during bronchoscopy. *Br J Anaesth* 1985; 57: 382–388
- 6 Aloy A, Schragl E. *Jet-Ventilation*. Wien, New York: Springer Verlag, 1995: 50
- 7 Klein U, Gottschall R, Hannemann U, Kämpf R, Knebel FG, Schönherr V. Kapnographie zur Bronchoskopie mit starrer Technik unter Hochfrequenz-Jet-Ventilation (HFJV). *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1995; 30: 276–282
- 8 Deimel G, Poblath A. Schlauch zum Verbinden von Messeinrichtungen zur Bestimmung von Inhaltsstoffen der Ein- und Ausatemluft mit einem starren Bronchoskop. Deutsches Patentamt, Gebrauchsmuster Nr. 297 08 676.6.
- 9 Frietsch T, Krafft P, Becker HD, Buelzebruck H, Wiedemann K. Intermittent capnography during high-frequency jet ventilation for prolonged rigid bronchoscopy. *Acta Anaesthesiol Scand* Apr 2000; 44(4): 391–397
- 10 Egol A, Culpepper JA, Snyder JV. Barotrauma and hypotension resulting from jet ventilation in critically ill patients. *Chest* Jul 1985; 88(1): 98–102
- 11 Craft TM, Chambers PH, Ward ME, Goat VA. Two cases of barotrauma associated with transtracheal jet ventilation. *Br J Anaesth* Apr 1990; 64(4): 524–527
- 12 Bourgain JL, Desruennes E, Cosset MF, Mabelle G, Belaiche S, Truffa-Baachi J. Measurement of end-expiratory pressure during transtracheal high frequency jet ventilation for laryngoscopy. *Br J Anaesth* Dec 1990; 65(6): 737–743
- 13 Klein U, Hannemann U, Knebel FG, Gottschall R, Clausen D. O<sub>2</sub>-Applikation und O<sub>2</sub>-Monitoring bei Jetventilation. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1996; 31: 385–386
- 14 Baer GA, Paloheimo M, Rahnasto J, Pukander J. End-tidal oxygen concentration and pulse oxymetry for monitoring oxygenation during intratracheal jet ventilation. *J Clin Monit* Nov 1995; 11(6): 373–380
- 15 Kluge E, Borner E, Hempelmann G. Airway pressure and transcutaneous O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> partial pressure as monitoring measurements for high-frequency jet ventilation. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed* 1986; 21: 198–202
- 16 Algora-Weber A, Rubio JJ, Dominguez de Villota E, Cortes JL, Comez D, Mosquera JM. Simple and accurate monitoring of end-tidal carbon dioxide tensions during high-frequency jet ventilation. *Crit Care Med* 1986; Vol 14 Nr 10: 895–897
- 17 Ward KR, Menegazzi JJ, Yealy DM, Klain MM, Molner RL, Goode JS. Translaryngeal jet ventilation and end-tidal pCO<sub>2</sub> monitoring during varying degrees of upper airway obstruction. *Ann Emerg Med* Nov 1991; 20(11): 1193–1197
- 18 Bach LF, Wanner-Olson H, Andersen BN, Madsen IK, Kruse S. Continuous end-tidal carbon dioxide monitoring during normofrequent jet-ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* Nov 1996; 40(10): 1238–1241
- 19 Biro P, Layer M, Wiedemann K, Seifert B, Spahn DR. Carbon dioxide elimination during high-frequency jet ventilation for rigid bronchoscopy. *Br J Anaesth* May 2000; 84(5): 635–637
- 20 Ihra G, Lanzenberger E, Donner A, Schabernig C, Zimpfer M, Aloy A. Jet-Adapter zur Durchführung der superponierten Hochfrequenz Jet-Ventilation (SHFJV) über einen Tubus in der Intensivmedizin: Eine technische Neuerung. *Anästhesist* 1998; 47: 209–219
- 21 Sachs L. *Angewandte Statistik*, 6. Auflage. Heidelberg, Berlin, New York, Tokyo: Springer Verlag, 1984: 238–240
- 22 Sachs L. *Statistische Methoden*, 5. Auflage. Heidelberg, Berlin, New York: Springer Verlag, 1982: 20

Dr. med. A. Poblath

Oberarzt der Abteilung für Anästhesiologie  
Lungenklinik Hemer  
Theo-Funccius-Str. 1  
58675 Hemer

E-mail: Alfred.Poblath@lungenklinik-hemer.de