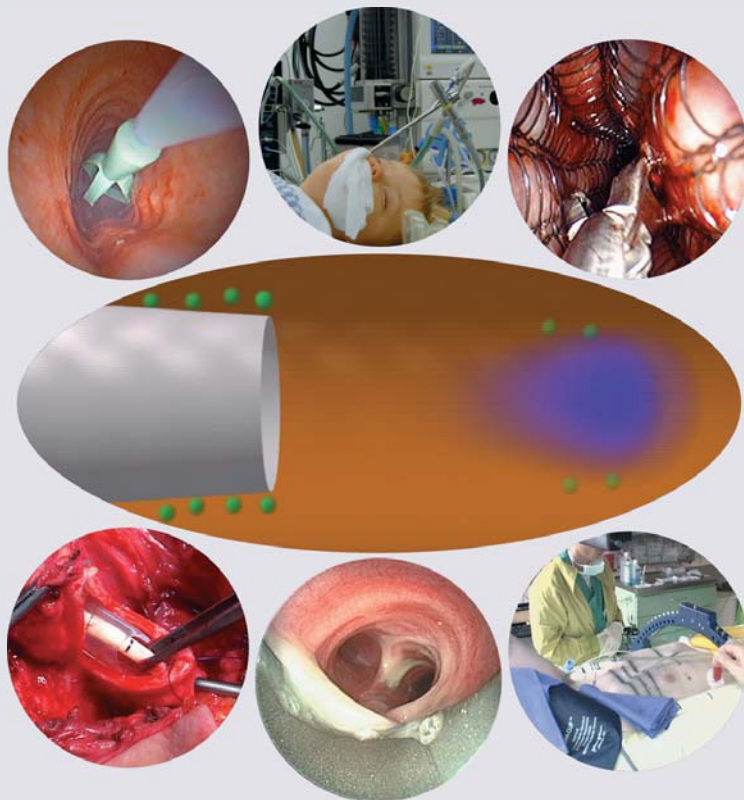


Jet-Ventilation

*Grundlagen und klinische Anwendung
der Jet-Beatmung*



JET-VENTILATION

Grundlagen und klinische Anwendung der Jet-Beatmung

Ein Film von

P. Biro, Institut für Anästhesiologie, Universitätsspital, Zürich

*R. Gottschall, Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie der
Friedrich-Schiller-Universität, Jena*

*U. Klein, Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie,
Südharz-Krankenhaus Nordhausen GmbH*

*K. Wiedemann, Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
Thoraxklinik Heidelberg gGmbH*

Mit Beiträgen von

J. Motsch, Heidelberg, M. Heitz, Zürich

Unter Mitarbeit von

*H.D. Becker, F. Herth, H. Hoffmann, C. Männle, Heidelberg
und A. Müller, Jena*



Vorwort

In dem vorliegenden Videofilm sollen die Möglichkeiten und der klinische Umgang mit der Jet-Beatmungstechnik nahegebracht werden. Einige Vorgehensweisen haben sich aus der täglichen Praxis der beteiligten Kliniken in Heidelberg, Jena und Zürich entwickelt. Diese zu übernehmen liegt im Ermessen eines jeden Anwenders. Insbesondere wird darauf verwiesen, daß jeder Anwender die Laser-Sicherheit der im Film gezeigten medizinischen Produkte eigenständig prüfen und verantworten muß. Der Film kann und soll die eingehende Beschäftigung mit der Theorie sowie die praktisch-klinische Einführung in die Jet-Beatmungstechnik nicht ersetzen.

P. Biro, R. Gottschall, U. Klein, K. Wiedemann

Inhalt

I	GRUNDLAGEN	
	• Animation	Seite 4
	• Lungenmodell	Seite 5
II	KLINISCHE ANWENDUNGEN	
	Hals-Nasen-Ohrenheilkunde	
	• Endoskopische Larynx- und Trachealchirurgie <i>Infraglottische Jet-Ventilation, CO₂-Laser-Chirurgie Supraglottische Jet-Ventilation</i>	Seite 9
	Bronchologie	
	• Starre Bronchoskopie bei Erwachsenen <i>Bronchographie, Nd-YAG-Laser-Chirurgie, Stentimplantation, Atemwegsblutung</i>	Seite 12
	• Starre Bronchoskopie bei Kindern <i>Sekretabsaugung/Bronchoalveoläre Lavage, Fremdkörperextraktion, Diagnostische Bronchoskopie</i>	Seite 14
	Thoraxchirurgie	
	• Offene Trachealchirurgie	Seite 16
	• Video-assistierte Thorakoskopie	Seite 17
	Strahlentherapie	
	• Perkutane stereotaktische Bestrahlung	Seite 18
III	FAZIT	Seite 19

I. GRUNDLAGEN

Animation

Definition, Prinzip, Parameter, Vorzüge, Grenzen der Jet-Ventilation

Jet-Ventilation bedeutet die gepulste Abgabe von Gasportionen hoher kinetischer Energie durch englumige Röhren in die Atemwege.

Damit werden große Gasvolumina freigesetzt. Sie dringen vornehmlich im Zentrum der Atemwege vor. Gleichzeitig entweicht das Expirationsvolumen vorwiegend im wandnahen Bereich des Atemwegsquerschnitts.

Dieser simultane, koaxiale Ein- und Ausstrom ist der wirksamste Mechanismus des Gastransports unter Jet-Ventilation. Andere, wie beispielsweise Taylor-Dispersion, freie bzw. erzwungene Konvektion sowie molekulare Diffusion, spielen eine geringere Rolle.

Hindernisse **aboral** der Austrittsöffnung vermindern den Gasfluß zur Lunge. Wegen des dadurch verringerten Atemhubvolumens ist die gleichzeitige Abstrombehinderung weniger bedeutsam.

Dagegen beeinträchtigen Hindernisse **oral** der Austrittsöffnung den Gasfluß zur Lunge nicht, wohl aber den Abstrom unter Umständen so, daß Überblähung und Barotrauma entstehen können.

Durch den Unterdruck an der Austrittsöffnung wird Gas aus der Umgebung mitgerissen und vermehrt das transportierte Gasvolumen. Dieser Effekt wird mit dem Begriff "**Entrainment**" bezeichnet. Wird Jet-Ventilation mit Sauerstoffkonzentrationen über 21% betrieben, resultiert aus dem Entrainment eine Absenkung der trachealen Sauerstoffkonzentration, der F_{iO_2} .

Der Gaswechsel bei Jet-Ventilation wird

geräteseitig von

Beatmungsfrequenz
Arbeitsdruck
Inspirationsdauer
 F_{iO_2} und von
Jet-Katheter oder Jet-Düse

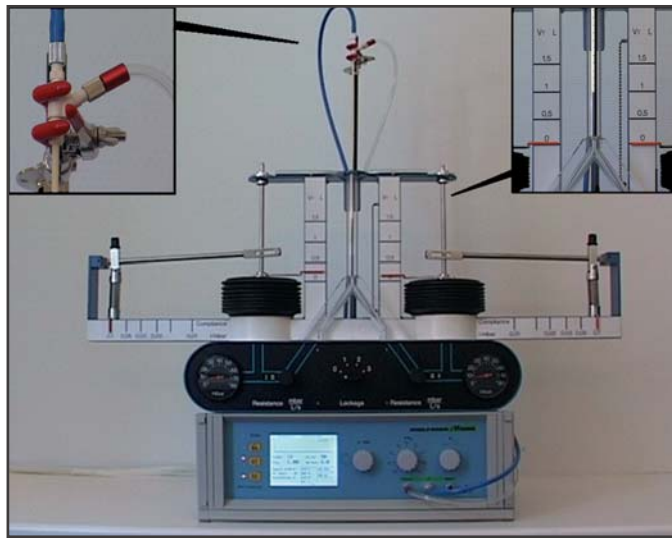
sowie **patientenseitig** im wesentlichen von

Compliance und
Resistance

bestimmt.

Lungenmodell

Diese Zusammenhänge werden am Lungenmodell erläutert:
Zur Darstellung des Prinzips wird ein doppelumiger Jet-Katheter verwendet, dessen Spitze im unteren Drittel der Modell-Trachea liegt.
Das Jet-Gas gelangt über den blauen Schlauch in das zentrale Katheterlumen.
Über den seitlichen Monitorkanal wird der Atemwegs-Spitzendruck überwacht.



Man unterscheidet bei der Jet-Ventilation (JV) zwischen einem **Niederfrequenzbereich** (NFJV n. Sanders) - bis zu 60 Pulsen pro Minute - und einem **Hochfrequenzbereich** (HFJV n. Klain/Smith), der klinisch gebräuchlich bei 400 Pulsen pro Minute endet.
Werden niederfrequente und hochfrequente Applikationen kombiniert, spricht man von **superponierter Jet-Ventilation** (SHFJV n. Aloy), wobei die niederfrequente Komponente die CO₂-Elimination fördert, während die hochfrequente Komponente (hier bis zu 600 Pulsen pro Minute) die Oxygenierung verbessert.

Bei **niederfrequenter Jet-Ventilation** gleicht das Tidalvolumen dem bei herkömmlicher Beatmung. Ein positiv-endexpiratorischer Druck ist nicht zu erwarten.

Das Charakteristikum der Jet-Ventilation wird hier besonders deutlich: Sie ist unter der Voraussetzung der "losen Kopplung" eine druckkonstante Beatmung. Deshalb sind die abgegebenen und angezeigten Volumina stets erheblich größer als die in die Lunge eingebrachten.

Bei der **Hochfrequenz-Jet-Ventilation** ergeben sich Tidalvolumina, die deutlich unter dem Volumen des physiologischen Totraums liegen können.

Die Gasaustauschzone, in die das Atemgas mit hoher Geschwindigkeit in die Atemwege gelangt, verlagert sich unter Überbrückung des anatomischen Totraums in periphere Lungenanteile.

Frequenzabhängig wird die Ausatemzeit so verkürzt, daß der endexpiratorische Druck ansteigen kann. Die Atemwegsspitzen drücke bleiben vergleichsweise niedrig, solange sehr hohe Frequenzen vermieden werden.

Bei Jet-Frequenzen über 200 pro Minute wird die Volumenverschiebung so gering, daß atemsynchrone Lungen- und Thoraxbewegungen immer weniger bemerkbar werden (**relative Ruhigstellung**). Die Trennung zwischen Inspiration und Expiration wird zugunsten eines kontinuierlich stattfindenden Gasstroms aufgehoben. Das Optimum der Interaktion zwischen den verschiedenen Gasaustauschmechanismen liegt im Bereich von 100 bis etwa 200 Pulsen pro Minute. Ab Frequenzen von 300 pro Minute nimmt die Wirksamkeit der CO₂-Elimination ab.

Die regelbare Drosselung des an der Gasversorgung anstehenden Druckes ergibt den **Arbeitsdruck**, unter welchem die Gasportionen aus der Jet-Leitung austreten. Änderungen des Arbeitsdruckes bewirken gleichsinnige Änderungen des freigesetzten Tidalvolumens.

Das resultierende Atemhubvolumen hängt aber wesentlich von der individuellen Lungenmechanik ab. Gleichwohl werden in erster Linie die CO₂-Elimination, in zweiter Linie die Oxygenation durch die Wahl des Arbeitsdruckes beeinflusst.

Veränderung der **Inspirationsdauer** bewirkt eine gleichsinnige Veränderung des freigesetzten Tidalvolumens.

Primär führt dies über vermehrtes Atemhubvolumen zur Verbesserung von Oxygenierung und CO₂-Elimination. Bei Kombination von übermäßiger Inspirationsdauer und ungünstig hoher Jet-Frequenz kann allerdings durch Verkürzung der Ausatemphase und Anstieg des auto-PEEP die CO₂-Elimination behindert werden.

F_iO₂, die **tracheale inspiratorische Sauerstoffkonzentration**, bestimmt naturgemäß die Oxygenierung ganz wesentlich. Sie ergibt sich jedoch erst aus der **Sauerstoffkonzentration im Jet-Gas "F_{Jet}O₂"** und der über Entrainment beigemischten Umgebungsluft. Auf dem Monitorbild bedeutet die Bezeichnung F_iO₂ also eigentlich F_{Jet}O₂.

Neben den genannten geräteseitigen Determinanten sowie den Gegebenheiten des Patienten beeinflussen **Länge und Querschnitt des Jet-Katheters bzw. der Jet-Düse und deren Position in den Atemwegen** die Ventilation.

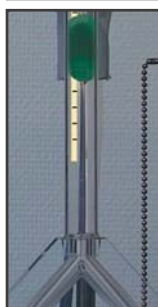
Ob der Gaswechsel unter Berücksichtigung dieser Faktoren tatsächlich im Normbereich liegt, läßt sich nur durch Pulsoxymetrie, endtidale bzw. transkutane CO₂-Messung oder Blutgasanalyse sicher nachweisen, weil die individuelle Atemmechanik das nicht meßbare effektive Atemhubvolumen wesentlich bestimmt.

Wird die **Compliance von Thorax und Lunge** verändert, ändert sich das effektive Atemhubvolumen gleichsinnig.

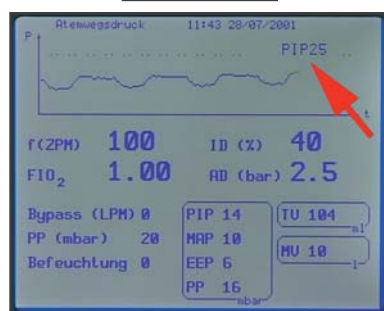
Wird die **Resistance der Atemwege** verändert, ändert sich das effektive Atemhubvolumen gegenläufig.



Ein **Hindernis aboral** des Jet-Austritts, so Tumor, Blutkoagel, Fremdkörper oder eingebrachte Instrumente, stellt kaum ein Barotrauma-Risiko dar, da schon der **Gaseinstrom in die Lunge behindert** ist.



Liegt das **Hindernis**, so Tumor, Glottisverengung oder Instrumente **oralwärts** der Jet-Austrittsöffnung, kann die resultierende Abstrombehinderung bereits nach wenigen Atemhüben zu Überblähung und Barotrauma führen.



Nur bei Messung des **Atemwegsspitzendruckes über den Monitorkanal** des Jet-Katheters oder Überwachung des **Pausendruckes in der Jet-Leitung** schaltet sich der Jet-Ventilator im Automatikmodus vor Eintritt einer Überblähungskomplikation rechtzeitig ab.

Bei manuell ausgelösten Atemhüben ist die Pausendruckmessung außer Kraft, nicht jedoch die Messung des Atemwegsspitzendruckes.

Die Dekompression des Jet-Gases nach Austritt aus der Düse führt zu Wärmeverlust, hoher Gasfluß zur Austrocknung der Atemwegsschleimhaut. Dies wird durch **Erwärmung und Befeuchtung des Gases** im Jet-Ventilator weitgehend verhindert, was während längerer Beatmung von großer Bedeutung ist.

Aus dem hohen Gasumsatz bei der Jet-Ventilation ergeben sich ihre zwei grundsätzlichen Vorzüge:

Die **"lose Kopplung"** zwischen Ventilator und Atemwegen
- eine gasdichte Verbindung entfällt -

und

sicherer Gasaustausch bei einem **Tidalvolumen**,
das **kleiner als der physiologische Totraum** sein kann.

II. KLINISCHE ANWENDUNGEN

Hals-Nasen-Ohrenheilkunde

Endoskopische Larynx- und Tracheachirurgie

Infraglottische Jet-Ventilation (I)

Eine Stimmbandzyste soll mikrolaryngoskopisch unter infraglottischer Jet-Ventilation abgetragen werden. Der Gaswechsel wird herkömmlich durch Pulsoximetrie, zusätzlich aber durch transkutane Blutgasmessung überwacht.

Der Eingriff erfolgt unter **kontinuierlicher totaler intravenöser Anästhesie** mit Propofol und Remifentanyl. Mivacurium, ein gut steuerbares nicht depolarisierendes Muskelrelaxans, erzeugt eine profunde Muskelschlaffung, welche durch periphere Nervenstimulation überwacht wird. Topische Anästhesie mildert zusätzlich Kreislaufreaktionen bei der folgenden Mikrolaryngoskopie.



Ein zweilumiger Jet-Katheter wird orotracheal eingeführt und im Mundwinkel fixiert.

Nach Anschließen des Jet-Katheters an die Jet- und Druckmessleitungen des Jet-Ventilators erfolgt die Beatmung mit 150 Pulsen pro Minute.

Weitere wichtige Einstellgrößen sind Arbeitsdruck, Inspirationsdauer und Sauerstoffkonzentration, die nach den Daten der transkutanen Blutgasüberwachung fortlaufend optimiert werden, sowie die Gasklimatisierung.

Die **klinische Überwachung der Jet-Ventilation** umfasst die Beobachtung von

Thoraxexkursionen und Hautkolorit,
Auskultation sowie die
Beurteilung des Jet-Geräusches.

Die Einstellung der Glottisregion mit dem Kleinsasser-Spatel durch den Operateur geschieht nun ohne Zeitdruck. Wegen des dünnlumigen Jet-Katheters bieten sich optimale Sicht- und Operationsbedingungen. Nach Wiederkehr von Schutzreflexen, suffizienter Spontanatmung und Bewußtsein wird die Jet-Ventilation beendet und der Katheter entfernt.

CO₂-Laser-Chirurgie

Bei mikrolaryngoskopischer CO₂-Laser-Chirurgie muß ein Jet-Katheter aus **nicht entflammbarem Material**, z.B. Teflon, verwendet werden.

Eine posttraumatische Glottisstenose bei dieser Patientin wird zunächst in supraglottischer Jet-Ventilation über eine Jet-Kanüle inspiziert.

Jetzt wird der doppelumige Laser-resistente Jet-Katheter nach Hunsaker zur infraglottischen Jet-Ventilation in die Trachea eingebracht.

Über das zweite Lumen wird der Atemwegsdruck überwacht.

Bei Überschreitung des oberen Grenzwertes durch Behinderung des Gasabflusses wird die Beatmung automatisch unterbrochen.



Der Monitorkanal mündet oberhalb, der Jet-Kanal in der Achse des grünen Abstandhalters zur Trachealwand.

Die Beatmung ohne Endotrachealtubus schafft die Voraussetzung für ein optimales Behandlungsergebnis. Das Entzündungs- oder Brandrisiko ist praktisch eliminiert. Eine möglichst geringe Sauerstoffkonzentration mindert das Risiko unkontrollierbarer thermischer Effekte im Resektions-Randbereich.

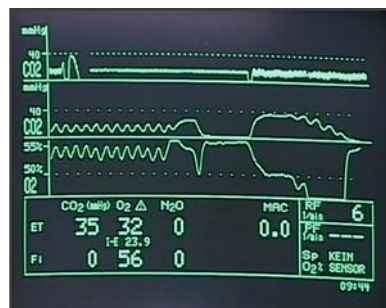
Infraglottische Jet-Ventilation (II)

Diese Trachealkanüle wird durch einen zweilumigen Jet-Katheter ersetzt. Über diesen wird die Patientin mit 100 Pulsen pro Minute beatmet.

Für die mechanische Abtragung fibrinöser Beläge der Glottis sowie von Granulationen am Tracheostoma ergeben sich unbehinderte Sicht- und Arbeitsbedingungen.

Über einen dreiseitig offenen Mehrwegehahn können einerseits die Atemwegsdrücke, andererseits die Atemgase durch Messung der F_iO₂ sowie intermittierende Kapnographie überwacht werden.

Bei höherer Impulsfrequenz ergibt sich auf dem Atemgasmonitor nur ein sinusförmiges CO₂-Signal als qualitativer Beleg für eine unbehinderte Ventilation.



Erzeugt man am Jet-Ventilator zum Zeitpunkt der Wahl manuell 3-4 niederfrequente Atemhübe, die einer Beatmungsfrequenz von 10-12 Atemhüben pro Minute entsprechen, entstehen verwertbare Kapnogramme.

Supraglottische Jet-Ventilation



Ein besonders eindrucksvolles Beispiel für den Begriff der "losen Kopplung" zwischen Ventilator und Atemwegen ist die supraglottische Jet-Ventilation über diese im Kleinsasser-Spatel wandständig fixierte Doppelkanüle.

Translaryngeale Eingriffe bis zur infraglottischen Region sind unter völlig gesichertem Gaswechsel möglich.

Das zweite Kanülen-Lumen wird wieder zur Atemwegsdruckkontrolle und Atemgasanalyse benutzt. Für eine optimale Jet-Wirkung muß die Kanüle in der Trachealachse ausgerichtet werden. Ist eine Beatmungsunterbrechung erwünscht, kann über den Jet-Ventilator manuell ausgelöst apnoische Oxygenierung erfolgen.

Frei von Behinderungen durch die Luftbrücken konventioneller Ventilation kann bei einem jungen Patienten ein ehemals wegen Postintubationsstenose nach Langzeitbeatmung eingebrachter Silikon-Stent aus dem oberen Tracheadrittel entfernt werden. Die geringen Blutmengen verbleiben aufgrund von auto-PEEP und sogenanntem "back-flow" wandständig und können abgesaugt werden.

Ein Barotraumarisiko besteht bei der supraglottischen Position der Jet-Kanüle nicht.

Bronchologie

Starre Bronchoskopie bei Erwachsenen

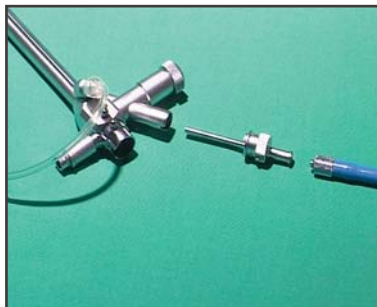
Das starre Bronchoskop wird unter Jet-Ventilation gleichzeitig als Instrumentenkanal und Beatmungsrohr auch für langdauernde Eingriffe nutzbar.

Die "lose Kopplung" zwischen Jet-Ventilator und Atemwegen erlaubt den Zugang mit Instrumenten ohne Unterbrechung der Beatmung.

Das Bronchoskop wird ohne Hilfsmittel eingeführt. Mit seiner Schräglippe wird die Epiglottis unterfahren. Die Stimmritze wird nach Drehung des Rohres um 90 Grad passiert. Für die schonende Einführung bis kurz vor die Trachealbifurkation sind tiefe Narkose und vollständige Muskelrelaxation wesentliche Voraussetzungen.



In den schrägen Seitenarm am Bronchoskopkopf wird die Jet-Düse eingesetzt und über den blauen Schlauch mit dem Jet-Ventilator verbunden. Der seitliche Luer-Lock-Konnektor führt zu einem wandständigen dünnen Meßkanal, durch den Gasanalysen oder Druckmessung nahe der Bronchoskopspitze möglich sind.



Die gegenseitige Beeinträchtigung von Anästhesist und Operateur in Luftwegzugang und Eingriffsgebiet ist unter Jet-Ventilation obsolet geworden.

Bronchographie

Das Fiberbronchoskop kann bei diesem Patienten so lange in Position bleiben, wie zu Bronchographie und Suche nach einer Bronchusfistel erforderlich. Auch Instrumente mit großem Durchmesser können das Bronchoskop leicht passieren.

Nd-YAG-Laser-Chirurgie

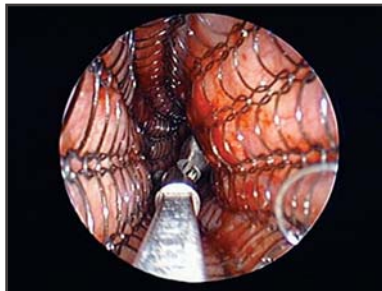
Beim Laser-chirurgischen Eingriff durch das starre Bronchoskop befindet sich keinerlei brennbares Instrumentarium im Wirkungsbereich des Strahles. Die Sonde kann zielgenau und richtungsstabil geführt werden, um diese Stenose durch einen trachealen Tumorexophyt zu erweitern.



Jet-Ventilation bewirkt hier einerseits Kühlung des Operationsfeldes und unterstützt andererseits mit dem kontinuierlichen Abstrom von Atemgas die rasche Entfernung von Rauch und Rußpartikeln.

Mit fortschreitender Verkleinerung des Atemwegshindernisses reichen immer niedrigere Arbeitsdrücke am Jet-Ventilator aus, um Normoventilation zu gewährleisten.

Stentimplantation



Ohne Zeitdruck ist die Implantation von Stents in den großen Atemwegen möglich.

Auch bei Lagekorrektur und Anformung sind unter Jet-Ventilation Sichtfeld und Gaswechsel gesichert.

Atemwegsblutung



Die Behandlung einer massiven Hämoptoe setzt weites Sichtfeld, großräumigen Zugang und sichere Ventilation voraus. Dies wird durch das starre Bronchoskop und Jet-Ventilation am besten gewährleistet. Die Ultraschallsonde zur Ortung der Blutungsquelle und Instrumente zur Therapie können durch das starre Rohr in vielfältiger Kombination eingebracht werden. Ursache dieser

Hämoptoe ist die Blutung aus einer Bronchialarterie. Luftwegsverschließende Blutkoagel lassen sich meist nur mit großlumigen Saugkathetern und Greifzangen entfernen.

Starre Bronchoskopie bei Kindern

Bei Kindern ist wegen der geringen Dimensionen der Atemwege und der Notwendigkeit, in Allgemeinanästhesie zu arbeiten, zur Bronchoskopie der Einsatz des starren Rohres weit verbreitet. Für die totale intravenöse Anästhesie werden ebenfalls Propofol, Remifentanyl und Mivacurium verwendet.

Jet-Ventilation ist hier sehr vorteilhaft, muß aber wegen der kleinen Durchmesser von Atemwegen und Bronchoskopen besonders umsichtig geführt werden. Bei diesem Kind erfolgt sie mit 100 Pulsen pro Minute.

Über den separaten Monitorkanal werden O_2 und CO_2 im Atemgas überwacht.

Die F_{iO_2} ist bei hochfrequentem Beatmungsmodus kontinuierlich

meßbar. Die intermittierende Kapnographie dient der Ventilationsanpassung durch entsprechende Veränderung des Arbeitsdruckes.

Alternativ kann hierzu die transkutane Blutgasmessung genutzt werden. Invasive Blutgasanalysen sind selten nötig.



Sekretabsaugung/Bronchoalveoläre Lavage

Unter den gezeigten Verfahrenskomponenten gelingt die Absaugung der zähen Sekretmengen sowie die Abklärung einer pulmonalen Verschattung durch bronchoalveoläre Lavage bei diesem Kind mit Mukoviszidose über das starre Bronchoskop bei gesichertem Gaswechsel gründlich, schonend und ohne Zeitdruck.



Fremdkörperextraktion



Von noch größerer Bedeutung ist diese Vorgehensweise bei der Behandlung einer Fremdkörperaspiration. Wegen Konsistenz des Fremdkörpers und entzündlicher Umgebungsreaktion ist umsichtiges Vorgehen nötig. Die Instrumente müssen häufig gewechselt werden. Wegen Verletzungsgefahr bei Bergung und Extraktion muß das Arbeitsfeld ruhig stehen.

All diese Anforderungen müssen oft unter Notfallbedingungen erfüllt werden. Das starre Bronchoskop und Jet-Ventilation bieten hierzu die sicheren Voraussetzungen.

Diagnostische Bronchoskopie

Die Klärung eines chronischen pulmonalen Infektes erfordert auch beim Kleinkind die starre Bronchoskopie.



Wegen der besonders geringen Abmessungen von Atemwegen und Bronchoskop, und deshalb möglichen Abstrombehinderungen, darf nach Anschluß des Jet-Ventilators der **Arbeitsdruck** nur in **kleinen Schritten von Null** bis zu Werten angehoben werden, bei denen klinisch wirksame Beatmung sichtbar wird.

Jedoch muß der Gaswechsel mit zuverlässigen, wenn auch möglichst nicht invasiven, Methoden überwacht werden. Die gute Korrelation der transkutanen Blutgasmessung und der Kapnographie unter zeitweise niederfrequenter Beatmung mit dem arteriellen pCO_2 ist umfangreich belegt. So kann die Auswirkung einer Ventilationsbehinderung schnell erkannt werden. Die Differenz zwischen endexpiratorischem und transkutan gemessenem pCO_2 liegt im Bereich der für beide Verfahren bekannten Gradienten und weist auf Veränderungen des Ventilations-Perfusions-Verhältnisses hin, ändert aber nichts am grundsätzlichen Nutzen dieser Überwachungsverfahren. Kapilläre oder arterielle Blutgasanalysen bleiben zumeist entbehrlich.

Die **Messung des Atemwegsdruckes** über den wandständigen Monitorkanal wird wichtig, wenn der Bronchoskopquerschnitt durch Instrumente, wie hier durch die rotierende endobronchiale Ultraschallsonde und das Fiberbronchoskop, bedeutend verengt wird.

Durch die Position der Jet-Düse ist allerdings schon der Gaseinstrom behindert, so daß mit einer Hypoventilation eher als mit einem Barotrauma gerechnet werden muß.

Dennoch weisen Veränderungen von Druckamplitude und Mitteldruck am Monitor¹ auf sinkenden Abstrom und ansteigenden auto-PEEP hin.

Thoraxchirurgie

Offene Trachealchirurgie

Zur Langzeitbeatmung nach Subarachnoidalblutung wurde bei dieser Patientin vor einem Jahr ein Tracheostoma angelegt. Subglottische Narbenstenose und links betonte Struma sollen gleichzeitig reseziert werden.

Als sicherer Luftweg wird ein Magill-Tubus verwendet. Er läßt sich leicht über die narbige Stenose und das Tracheostoma hinweg einführen. So können Weichteilpräparation und Resektion der Struma unter konventioneller Beatmung vorgenommen werden.

Wenn die großen Atemwege, wie hier die Trachea, durchtrennt werden müssen, erleichtern dünne Beatmungskatheter Übersicht und chirurgisches Vorgehen außerordentlich. Mit Jet-Ventilation läßt sich hier die Beatmung sichern, da wegen der hohen Gasflüsse die "lose Kopplung" zwischen Atemweg und Ventilator ausreicht.

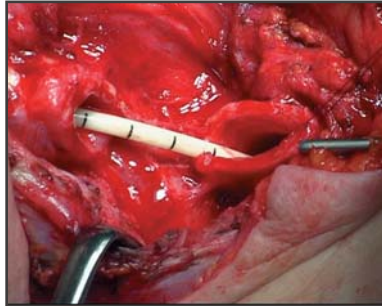
Noch während der konventionellen Beatmung wird der doppelläufige Jet-Katheter über das Bronchoskopie-Diaphragma durch den Endotrachealtubus bis in die Nähe der trachealen Bifurkation vorgeschoben.



Der zentrale Ventilationskanal wird mit dem Gasauslaß des Jet-Ventilators verbunden. Der Kanal im Seitenarm wird zur Überwachung des inspiratorischen Spitzendruckes, simultan zu Kapnographie und Oxygraphie, benutzt.

Sobald die Trachea distal der Stenose eröffnet ist, wird die Jet-Ventilation begonnen. Der funktionslose Tubus wird bis oberhalb des ehemaligen Tracheostomas zurückgezogen.

¹ Der Atemwegsdruck ist unter der Bezeichnung "venös" dargestellt



Nun kann die Trachea auch oralwärts der Stenose durchtrennt werden. Der dünne Jet-Katheter stört kaum.

Der stenotische Tracheateil ist manschettentartig reseziert.

Die Jet-Ventilation sichert hier bei Arbeitsdrücken zwischen 1,0 und 1,5 bar einen arteriellen $p\text{CO}_2$ zwischen 30 und 32 Torr.

Die $F_{\text{Jet O}_2}$ von 1,0 wird durch Ansaugen von Umgebungsluft offenbar nur mäßig verdünnt, denn der arterielle Sauerstoffpartialdruck liegt selbst während 55 Minuten Jet-Ventilation stets über 400 Torr.

Mit Fortschreiten der Anastomosennaht verringert sich das Atemwegsleck. Zur Abwendung eines Barotraumas sind jetzt drei Maßnahmen wichtig:

1. Abstromhindernisse müssen aus dem proximalen Atemweg entfernt werden.
2. Das Überlaufventil am Narkosegerät muß geöffnet werden.
3. Der Arbeitsdruck des Jet-Ventilators wird nach Atemwegsdruck und Thoraxbeobachtung stetig abgesenkt.

Während der letzten Vorderwandnähte wird die Jet-Ventilation beendet und die konventionelle Beatmung aufgenommen.

Video-assistierte Thorakoskopie

In video-assistierter Thorakoskopie sollen Biopsien aus Pleura und Lunge entnommen werden. Wegen ungünstiger Durchblutungsverteilung und beeinträchtigter Lungenfunktion muß die zu operierende Lunge beatmet werden. Unter Jet-Ventilation bleiben die Volumenschwankungen gering und das Operationsfeld bewegungsarm.

Die linke Lunge ist durch Abklemmen des trachealen Schenkels des Doppellumentubus aus der normofrequenten Ventilation genommen.

Durch das Bronchoskopie-Diaphragma wird der doppelläufige Katheter zur Jet-Ventilation in den trachealen Schenkel des Doppellumentubus eingeführt und wie üblich zu Jet-Ventilation und Überwachung benutzt.

Der tracheale Mitteldruck von 16 Millibar, und damit die Blähung der Lunge, wird vom Zusammenwirken des Arbeitsdruckes von 0,7 bar und der Stellung des PEEP-Ventils am Reservoirbeutel bestimmt.

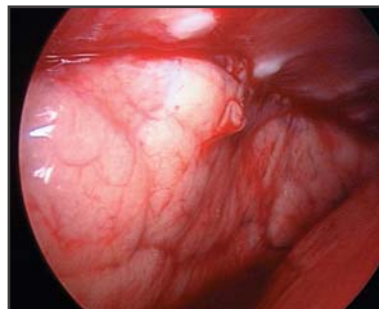
Über diesen wird Sauerstoff als sogenannter Bias-Flow geliefert, damit bei Entrainment eine F_{iO_2} von 1,0 gesichert ist.



Nach Einbringen des ersten Trokars in die Thoraxwand ist die Lunge trotz Jet-Ventilation soweit kollabiert, daß mit der Video-Optik ausreichende Übersicht in der Pleurahöhle gewonnen wird.

Allerdings kann das Sichtfeld nicht das gewohnte Ausmaß haben, wenn die Lunge in den Gaswechsel einbezogen ist. Dennoch lassen sich die hellen Pleuraplaques gut erkennen, die für den Verdacht auf Mesotheliom sprechen.

Für die Resektion eines Lungenkeils wurden Ventilation und Blähung kurz unterbrochen. Nahtverlauf und Dichtigkeit werden wieder unter Jet-Ventilation geprüft.



Strahlentherapie

Perkutane stereotaktische Bestrahlung

Bei intrapulmonalen Malignomen soll das Bestrahlungsfeld möglichst eingegrenzt werden, um Schäden an Nachbarorganen, so am Herzen, zu vermeiden. Die im Computertomographen ermittelten Zielkoordinaten werden auf den sicher fixierten Patienten übertragen.

Dieser wird mit Hilfe eines Vermessungs-Lasers exakt danach ausgerichtet. Unter normofrequenter Atmung ist die Bestrahlung dennoch nicht mit Präzision zu erreichen, weil sich das Zielobjekt atemsynchron bewegt.



Mit Hochfrequenz-Jet-Ventilation wird mit minimalem Hubvolumen bei 200-300 Pulsen pro Minute der Gaswechsel sichergestellt und ein faktischer Stillstand des Bestrahlungsgebietes erreicht.

In allen drei Ebenen lässt sich so das Herz aus dem Bereich gefährlicher Strahlungsintensität halten.

III FAZIT

Jet-Ventilation unterscheidet sich scheinbar in beunruhigender Weise von herkömmlichen Beatmungsverfahren.

Werden die physikalischen Grundlagen mit Umsicht auf die klinische Situation angewendet, können die Bestimmungsgrößen des Gaswechsels zuverlässig gesteuert und Risiken frühzeitig erkannt werden.

Damit erschließen sich für die Jet-Ventilation Anwendungsfelder, in welchen sichere Beatmung auch unter ungewöhnlichen klinischen Umständen gefordert ist.

Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der beteiligten Kliniken in Heidelberg, Jena und Zürich für die freundliche Unterstützung bei den Dreharbeiten.

Die Realisation des Projekts wurde durch die IfM GmbH, Wettenberg ermöglicht. Es beteiligte sich Acutronic Medical Systems, Baar, Schweiz

Literaturhinweis:

Biro P, Wiedemann K (1999) Jetventilation und Anästhesie für diagnostische und therapeutische Eingriffe an den Atemwegen. Anaesthesist 48:669-685

Jet - Ventilation

Grundlagen und klinische Anwendung der Jet-Beatmung

Ein Film von:

P. Biro, Institut für Anästhesiologie, Universitätsspital Zürich

**R. Gottschall, Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie der
Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**U. Klein, Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie,
Südharz-Krankenhaus Nordhausen GmbH**

**K. Wiedemann, Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
Thoraxklinik Heidelberg gGmbH**

Mit Beiträgen von

J. Motsch, Heidelberg und M. Heitz, Zürich

Unter Mitarbeit von

**H. D. Becker, F. Herth, H. Hoffmann, C. Männle, Heidelberg
und A. Müller, Jena**

Produktion:

Cinema Studios

L. Ludwanowski

Knüwenstr. 15

D-48477 Hörstel-Dreierwalde

September 2001

Länge: 26 min

GEMA und

GÜVA frei

Öffentliche Aufführung nur mit Genehmigung der Autoren.

*Bezugsquelle des Lehrvideos und Produktinformationen zu Jet-Ventilatoren und Zubehör:
IfM GmbH, Lahnwegsberg 5, D-35435 Wetzlar, Tel.: 0641-98256-0, www.jetventilation.de*

502-004 Rev. a 23.06.02