



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 033 546 B3** 2008.06.05

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 033 546.8**

(22) Anmeldetag: **19.07.2007**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **05.06.2008**

(51) Int Cl.⁸: **A61M 16/00** (2006.01)
A61B 5/08 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

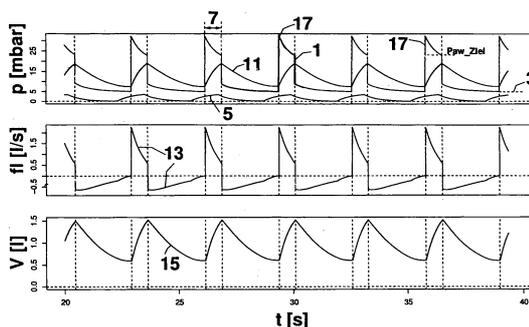
(73) Patentinhaber:
Dräger Medical AG & Co. KG, 23558 Lübeck, DE

(72) Erfinder:
Eger, Marcus, Dr., 23562 Lübeck, DE; Weismann, Dieter, Dr., 23627 Groß Grönau, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
NICHTS ERMITTELT

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Beatmungsvorrichtung und Beatmungsvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Betreiben einer Beatmungsvorrichtung mit einem Inspirationsdruckzeitverlauf (1), welcher einen Ziel-Atemwegsdruck (p_{aw_ziel}) und einen PEEP (3) aufweist, vorgeschlagen, bei welcher der Inspirationsdruckzeitverlauf (1) ausgehend von einem Start-Atemwegsdruck (p_{aw_start}), welcher größer als der PEEP (3) ist, in rampenartigem Druckverlauf (17) den Ziel-Atemwegsdruck (p_{aw_ziel}) erreicht. Die Erfindung gibt ferner eine geeignete Vorrichtung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens an.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zum Betreiben einer Beatmungsvorrichtung. Sie betrifft ferner eine Beatmungsvorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

[0002] Bei der druckunterstützten oder druckkontrollierten Beatmung von Patienten ist es bislang nicht möglich, den Verlauf des Beatmungsdrucks über der Zeit sowie die Dauer des inspiratorischen Beatmungshubs automatisch an die individuelle Atemmechanik des Patienten und insbesondere an dessen pulmonale Erkrankungen bzw. Einschränkungen anzupassen.

[0003] Eine solche Anpassung an das pulmonale Krankheitsbild des Patienten wäre jedoch wünschenswert, da sich die Atem- bzw. Lungenmechanik bspw. eines COPD-Patienten von jener eines ARDS-Patienten mit Auswirkung auch auf eine optimale maschinelle Beatmung unterscheidet. So ist bspw. die Compliance eines COPD-Patienten vergleichsweise hoch, während ARDS-Patienten eine vergleichsweise niedrige Compliance aufweisen.

[0004] Für COPD-Patienten ist es vorteilhaft, sie zur Überwindung resistiver Widerstände mit einem anfänglich hohen Atemwegsdruck und erst in einem späteren Stadium der Inspiration mit vergleichsweise niedrigem Druck zu beatmen. Diese Patienten benötigen zur Expiration überdurchschnittlich lange. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Expiration bei passiver Ausatmung wird die Inspirationsdauer daher üblicherweise kurz und der Inspirationsdruck hoch gewählt (siehe [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#)). Bei zu lang gewählten Inspirationszeiten kann es jedoch zu einer Überblähung der Lunge kommen, insbesondere bei Beatmung mit Pressure-Support und/oder einem zu unempfindlich gewählten, Flow-basierten Cycle-Off Kriterium. Zudem wird häufig eine asynchrone Patiententätigkeit – welche einer Entlastung der Atemmuskulatur entgegenwirkt – sowie die Bildung eines intrinsischen PEEP begünstigt. Letzteres ist nachteilig für den Patienten.

[0005] Im Gegenzug hierzu müssen ARDS-Patienten behutsam mit hohen Drücken beatmet werden, um einen hinreichenden Gasaustausch zu erzielen. Der erforderliche Druck wird dabei üblicherweise allmählich auf den maximalen Inspirationsdruck erhöht. Für die Ausatmung wird hingegen vergleichsweise wenig Zeit benötigt, da die hohen elastischen Rückstellkräfte das eingeatmete Gasvolumen rasch austreiben helfen. Daher werden regelmäßig kurze Expirationszeiten gewählt, auch um ein Zusammenfallen rekrutierter Lungenbereiche durch Erzielen eines beabsichtigten intrinsischen PEEP zu verhindern. Die Beatmung von ARDS-Patienten führt jedoch ins-

besondere bei Anwendung des bei Pressure-Support üblichen Flow-basierten Cycle-Off Kriteriums zu sehr kurzen Inspirationszeiten und einer zum Beatmungsmuster asynchronen Patientenaktivität, wie dies [Fig. 3](#) zu entnehmen ist.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Betreiben einer Beatmungsvorrichtung vorzuschlagen, welche eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Beatmung von Patienten, insbesondere mit jeweils unterschiedlichen pulmonalen Erkrankungen, ermöglicht. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine geeignete Vorrichtung anzugeben.

[0007] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0008] So wird erfindungsgemäß ein Verfahren zum Betreiben einer Beatmungsvorrichtung mit einem Inspirationsdruckzeitverlauf, welcher einen Ziel-Atemwegsdruck und einen PEEP (positive endexpiratory pressure) aufweist, vorgeschlagen. Beim erfindungsgemäßen Verfahren erreicht der Inspirationsdruckzeitverlauf ausgehend von einem Start-Atemwegsdruck, welcher größer als der PEEP ist, in rampenartigem Verlauf den Ziel-Atemwegsdruck.

[0009] Erfindungsgemäß wird unter einer Beatmungsvorrichtung jede Vorrichtung verstanden, welche zur Beatmung und/oder zur Anästhesie eines menschlichen oder tierischen Patienten dient.

[0010] Unter einem rampenartigen Druckverlauf wird im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Abweichung von dem aus der Praxis bekannten, rechteckigen oder näherungsweise rechteckigen Druckverlauf bei maschinell unterstützter Inspiration verstanden. Anders ausgedrückt wird unter einem rampenartigen Verlauf (im Folgenden auch kurz als „Rampe“ bezeichnet) eine Abweichung insbesondere zu Beginn eines maschinellen Inspirationshubs verstanden, mittels welcher eine Adaption des Inspirationsdruckverlaufs an die individuellen pulmonalen Gegebenheiten eines Patienten erfolgt. Der Begriff „Rampe“ ist daher nicht ausschließlich als ein Anstieg von einem Druckniveau auf ein höheres Druckniveau zu verstehen, Rampe kann auch einen Druckabfall von einem höheren auf ein niedrigeres Druckniveau bedeuten. Dabei ist der grafische Verlauf einer Rampe im Sinne der vorliegenden Erfindung nicht auf einen linearen, stufenförmigen, exponentiell verlaufenden oder anders ausgestalteten Kurvenverlauf beschränkt. Zur Beschreibung der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „Rampe“ auch durch „Druckaufschaltung“ ersetzt. Diese Druckaufschaltung kann sowohl positiver Art sein, also eine Druckerhöhung bedeuten, als auch negativer Art sein, also eine Druckverringerng bedeuten.

[0011] Ein mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erzielbarer Vorteil besteht darin, dass durch das erfindungsgemäß vorgeschlagene Annähern des Beatmungsdrucks von einem Start-Atemwegsdruck auf den gewünschten Ziel-Atemwegsdruck mittels rampenartigem Druckverlauf eine Anpassung des Inspirationsdruckzeitverlaufs an den Patienten und eine ggf. vorliegende pulmonale Erkrankung möglich ist. Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es daher bei druckunterstützter oder druckkontrollierter Beatmung des Patienten möglich, eine auf seine pulmonale Erkrankung angepasste Beatmung durchzuführen.

[0012] Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Lösung sind jeweils Gegenstand der Unteransprüche.

[0013] So wird in einer bevorzugten Ausführungsform vorgeschlagen, dass bei der Beatmung nicht nur eine pulmonale Erkrankung berücksichtigt wird, sondern die gesamte pulmonale Vorgeschichte und/oder der gesamte pulmonale Status.

[0014] Während bei der vorliegenden Erfindung in ihrer oben beschriebenen, allgemeinsten Form eine Berücksichtigung einer pulmonalen Erkrankung bereits dadurch berücksichtigt werden kann, dass an der Beatmungsvorrichtung die Information eingegeben wird, dass diese oder jene Erkrankung vorliegt und der rampenartige Druckverlauf entsprechend von Erfahrungen, welche sich bei der Beatmung einer Vielzahl von Patienten mit derselben Erkrankung als hilfreich herausgestellt hat, wird der rampenartige Druckverlauf bei der vorliegenden Ausführungsform anhand des individuell vorliegenden pulmonalen Status festgelegt. Möglichkeiten der technischen Umsetzbarkeit werden unten detailliert beschrieben. Ein mit der Erfindung dieser Ausführungsform verbundener Vorteil besteht in der weiter individualisierten Beatmung des Patienten sowie jenen, dem Fachmann bereits bekannten, Vorteilen.

[0015] In einer weiter bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass bei der Behandlung bzw. Beatmung des Patienten eine Soll-Zeitkonstante festgesetzt wird, welche eine gewünschte zeitliche Dynamik der Füllung der Lunge angibt. Diese Soll-Zeitkonstante kann vorrichtungsseitig vom Arzt eingestellt werden, sie kann jedoch auch in der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betriebenen Beatmungsvorrichtung hinterlegt sein.

[0016] Die Soll-Zeitkonstante kann ferner für unterschiedliche Krankheitsbilder eines zu beatmenden Patienten vorgehalten werden. Eine für ein bestimmtes pulmonales Leiden besonders geeignete Soll-Zeitkonstante – welche bspw. auf Erfahrungswerten früherer Beatmungen desselben oder anderer Patienten beruht – kann vorrichtungsseitig hinterlegt

sein, so dass es vor Beginn der Beatmung des Patienten genügen kann, zu erfahren, welches pulmonale Leiden beim Patienten vorliegt. Es kann daher genügen, die Art der pulmonalen Beeinträchtigung an der Beatmungsvorrichtung oder einer hierzu vorgesehenen Einrichtung anzugeben.

[0017] In einem weiteren Schritt dieser Ausführungsform wird beim erfindungsgemäßen Verfahren eine Zeitkonstante der Lungenmechanik des Patienten ermittelt oder abgeschätzt. Diese Zeitkonstante der Lungenmechanik kann zudem ebenfalls in Tabellen nachgeschlagen werden bzw. an der Vorrichtung für verschiedene pulmonale Erkrankungen eingestellt sein. So kann für einen ARDS-Patienten eine Zeitkonstante der Lungenmechanik von 0,1 s, für einen COPD-Patienten von 1,0 s, für einen pulmonal unauffälligen Patienten von 0,3 s eingestellt oder einstellbar sein. Diese Zeitkonstante soll – sowie möglich und erforderlich – die tatsächlich vorliegende Begebenheiten der Lungenmechanik widerspiegeln. Sie gibt einen Anhaltspunkt darüber, in welchem Maße der Beatmungsdruck an vorliegende Umstände angepasst werden muss, um die Soll-Zeitkonstante bei der Beatmung umzusetzen.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht in dieser Ausführungsform ferner das Berechnen des rampenartigen Druckverlaufs vor. Der rampenartige Druckverlauf bzw. die Druckaufschaltung zu jeder Zeit t , wie der rampenartige Druckverlauf im Rahmen dieser Erfindung auch genannt wird, kann während der Inspiration bspw. gemäß der Formel (1) berechnet werden.

$$(1) \quad \Delta p_{aw} = [p_{aw_Start} - p_{aw_Ziel}] \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{Soll}}}$$

[0019] Soll eine bestimmte zeitliche Dynamik der Füllung der Lunge vorgegeben werden, so kann für den Start-Atemwegsdruck p_{aw_Start} gelten:

$$(2) \quad p_{aw_Start} = p_{aw_Ziel} \cdot \frac{\tau}{\tau_{Soll}}$$

[0020] Damit ergibt sich für die Druckaufschaltung Δp_{aw} :

$$(3) \quad \Delta p_{aw} = p_{aw_Ziel} \cdot \left[\frac{\tau}{\tau_{Soll}} - 1 \right] \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{Soll}}}$$

[0021] Die Formeln (1) bzw. (3) können z. B. linear angenähert werden (Abbruch der Potenzreihenentwicklung der e-Funktion nach dem ersten Glied), so dass sich ergibt:

$$(4) \quad \Delta p_{aw} = [p_{aw_Start} - p_{aw_Ziel}] \cdot \left[1 - \frac{t}{\tau_{Soll}} \right]$$

bzw.

$$(5) \quad \Delta p_{aw} = p_{aw_Ziel} \cdot \left[\frac{\tau}{\tau_{Soll}} - 1 \right] \cdot \left[1 - \frac{t}{\tau_{Soll}} \right]$$

[0022] Die Formeln (4) und (5) gelten für $0 \leq t \leq \tau_{Soll}$. Liegt t in einem anderen Bereich, so nimmt die Druckaufschaltung Δp_{aw} den Wert 0 an. Durch die linear angenäherte Druckaufschaltung Δp_{aw} erhält man eine lineare Rampe, welche allerdings bei einem Druck oberhalb von PEEP beginnt.

[0023] Zur Ermittlung der Zeitkonstanten der Lungenmechanik des Patienten wird in einer weiter bevorzugten Ausführungsform deren Bestimmung mittels Regressionsverfahren und/oder Okklusionsverfahren vorgeschlagen. Es können jedoch auch weitere, hier nicht genannte Verfahren zum Einsatz kommen, welche dem Fachmann zwar bekannt sind, bislang jedoch nicht im erfindungsgemäßen Kontext verwendet wurden. Diesbezüglich wird auf die einschlägige Literatur verwiesen. Die Zeitkonstante der Lungenmechanik kann jedoch auch – wie in einer weiter bevorzugten Ausführungsform vorgeschlagen wird – an der Beatmungsvorrichtung oder einer hierfür vorgesehenen Einrichtung eingestellt werden. Dies ist insbesondere dann von Nutzen, wenn bspw. für ein- und denselben Patienten aus vergangenen oder zwischenzeitlich durchgeführten Beatmungen, oder von der Beatmung unabhängigen Untersuchungen die Zeitkonstante der Lungenmechanik bereits bekannt ist.

[0024] Es ist aufgrund des oben Diskutierten augenscheinlich, dass die Bestimmung der Zeitkonstanten der Lungenmechanik einmalig zu Beginn einer Beatmung oder mehrfach im Laufe einer Beatmung bestimmt werden kann. Letzteres ist insbesondere dann von Vorteil, wenn sich die Zeitkonstante der Lungenmechanik des Patienten aufgrund dessen Umlagerung im Rahmen einer Operation oder nach Umbettung üblicherweise ändert oder zumindest ändern kann. In jeder erfindungsgemäßen Ausführungsform kann unabhängig vom Vorliegen weiterer Merkmale eine automatische Bestimmung der Zeitkonstante der Lungenmechanik vorgesehen sein. Dies hat den Vorteil, dass auch ohne Zutun eines Arztes oder Betreuers des Patienten eine erforderliche oder angemessene Druckaufschaltung ermittelt werden kann.

[0025] Eine wiederum weiter bevorzugte Ausführungsform umfasst den Schritt des Festsetzens des Start-Atemwegsdrucks, das Festsetzen einer Zeitkonstanten zur Bestimmung der Veränderung des angelegten Inspirationsdrucks und des oben bereits diskutierten Berechnens des rampenartigen Druckverlaufs. Die Angabe bzw. das Festsetzen des Start-Atemwegsdrucks und das Festsetzen einer Zeitkonstanten, welche angibt, mit welcher Geschwindigkeit sich der angelegte Inspirationsdruck verändert, ermöglicht es, den rampenartigen Druckverlauf auf alternative Weise zu berechnen. Kenntnisse über die

Zeitkonstante der Atemmechanik der Lunge sind – im Gegensatz zum oben diskutierten Ausführungsbeispiel – hierzu nicht erforderlich. Der rampenähnliche, zeitliche Druckverlauf zwischen dem Start-Atemwegsdruck und dem Ziel-Atemwegsdruck kann bspw. entsprechend der oben dargestellten Formen (1) oder (4) ermittelt werden.

[0026] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird auch durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst. Da mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung alle oben diskutierten Vorteile ungeschmälert erzielt werden können, wird zur Vermeidung von Wiederholungen an dieser Stelle explizit auf deren oben stehende Diskussion verwiesen.

[0027] Die vorliegende Erfindung wird im Folgenden mit Bezug auf die angehängte Zeichnung detaillierter erläutert, in welcher gleiche Bezugszeichen gleiche Verläufe oder Elemente bezeichnen. In der Zeichnung gilt:

[0028] [Fig. 1](#) zeigt eine Simulation der druckunterstützten Beatmung eines COPD-Patienten;

[0029] [Fig. 2](#) zeigt eine Simulation wie in [Fig. 1](#) mit einer Desynchronisation zwischen Beatmungsvorrichtung und Patient;

[0030] [Fig. 3](#) zeigt eine Simulation der druckunterstützten Beatmung eines ARDS-Patienten;

[0031] [Fig. 4](#) zeigt eine Simulation der druckunterstützten Beatmung eines COPD-Patienten wie in [Fig. 1](#), jedoch unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0032] [Fig. 5](#) zeigt eine Simulation der druckunterstützten Beatmung eines ARDS-Patienten wie in [Fig. 3](#), jedoch unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0033] [Fig. 6](#) zeigt den schematischen Verlauf mit rampenartigem Druckverlauf gemäß der vorliegenden Erfindung bei linearer Rampe bzw. Druckverlauf-Schaltung ([Fig. 6A](#)) und bei exponentieller Rampe ([Fig. 6B](#)); und

[0034] [Fig. 7](#) zeigt eine schematisch vereinfachte erfindungsgemäße Vorrichtung.

[0035] [Fig. 1](#) zeigt eine Simulation der druckunterstützten Beatmung eines COPD-Patienten mit mittlerer Compliance, hohem Widerstand und einem Inspirationsdruckverlauf **1**, wie er in der Praxis üblicherweise appliziert wird.

[0036] Der in der oberen Darstellung der [Fig. 1](#), in welcher der Verlauf des Beatmungsdrucks bzw. Inspirationsdrucks oberhalb PEEP **3** über der Zeit dar-

gestellt ist, dargestellte hohe intrinsische PEEP **4** erfordert [DA1] eine hohe Muskelaktivität **5**, welche in der oberen Darstellung der **Fig. 1** als unterster Kurvenverlauf gezeigt ist, um jeweils den nächsten getriggerten Atemhub auszulösen. Die maschinelle Inspirationszeit **7** ragt weit in die Ausatemphase **9** des Patienten hinein. **Fig. 1** zeigt ferner den in der Lunge herrschenden Druck **11**. Die mittlere Darstellung der **Fig. 1** stellt den Patienten-Flow bzw. Fluss **13** über der Zeit dar. Die untere Darstellung der **Fig. 1** gibt das Gasvolumen **15** innerhalb der Lunge über der Zeit an.

[0037] **Fig. 2** zeigt eine Simulation wie in **Fig. 1**, wobei in **Fig. 2** zu erkennen ist, dass es zu einer starken Desynchronisation zwischen Beatmungsvorrichtung und Patient und zu sogenannten „missing triggers“ kommt. Sowohl die Simulation der **Fig. 1** als auch jene der **Fig. 2** wurde mit den Parameterwerten Compliance $C = 80 \text{ ml/mbar}$ und Resistance $R = 12 \text{ mbar/(l/s)}$ durchgeführt.

[0038] **Fig. 3** zeigt eine Simulation mit $C = 30 \text{ ml/mbar}$ und $R = 5 \text{ mbar/(l/s)}$ einer druckunterstützten Beatmung eines ARDS-Patienten mit geringer Compliance und mittlerem Widerstand. Durch das bei Pressure-Support übliche Flow-basierte Cycle-Off-Kriterium zur Umschaltung von Inspiration nach Expiration kommt es zu sehr kurzen Inspirationszeiten. Gleichzeitig zeigt der Patient inspiratorische Muskelaktivität während der maschinellen Ausatemphase.

[0039] **Fig. 4** zeigt eine mit den oben für die **Fig. 1** und **Fig. 2** gegebenen Werten für C und R gefahrene Simulation der druckunterstützten Beatmung eines COPD-Patienten wie in **Fig. 1**, jedoch unter Anwendung der inspiratorischen Druckaufschaltung nach Formel (3), wobei $\tau_{\text{Soll}} = 0,5 \text{ s}$ gewählt wurde. Die Inspirationszeit wird damit erheblich kürzer, so dass mehr Zeit zum Ausatmen verbleibt und der intrinsische PEEP vorteilhaft absinken kann. Bei dem fett markierten Inspirationszyklus ist eine gegenüber der gleichen Darstellung in **Fig. 1** zu erkennende Erhöhung des anfänglichen Inspirationsdrucks (hier Druckaufschaltung **17**) zu erkennen. Diese rampenartige Erhöhung (bzw. Druckaufschaltung **17**) ermöglicht es vorteilhaft, den COPD-Patienten zu Beginn der Inspiration mit vorübergehend höherem Druck zu beatmen und hiermit die oben genannten Vorteile zu erzielen, bevor der Druck auf den Ziel-Atemwegsdruck $p_{\text{aw_Ziel}}$ abfällt. Im Vergleich der jeweils oberen Darstellungen der **Fig. 1** und **Fig. 4** ist zu erkennen, dass bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wie in **Fig. 4** die Inspirationszeit vorteilhaft verkürzt ist und die maschinelle Inspirationszeit **7** nicht mehr merklich in die Expirationsphase des Patienten hinein reicht.

[0040] **Fig. 5** zeigt die Simulation der druckunter-

stützten Beatmung eines ARDS-Patienten wie in **Fig. 3**, jedoch unter Anwendung der inspiratorischen Druckaufschaltung nach Formel (3) wobei $\tau_{\text{Soll}} = 0,5 \text{ s}$ gewählt wurde. **Fig. 5** ist zu entnehmen, dass die Inspirationszeit erheblich länger als in **Fig. 3** ist, so dass mehr Zeit für den Gasaustausch verbleibt. Die in **Fig. 3** zu erkennende asynchrone Patientenaktivität ist in der Darstellung der **Fig. 5** aufgrund der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht vorhanden.

[0041] **Fig. 6** zeigt als **Fig. 6A** den schematischen Verlauf der inspiratorischen Druckaufschaltung mittels linearer Rampe (**Fig. 6A**) bzw. exponentieller Funktion (**Fig. 6B**). Aus **Fig. 6A** ist zu erkennen, dass der Start-Atemwegsdruck $p_{\text{aw_Start}}$ oberhalb des Ziel-Atemwegsdrucks $p_{\text{aw_Ziel}}$ (Fall I.) aber auch unterhalb des Ziel-Atemwegsdrucks $p_{\text{aw_Ziel}}$ erliegen kann, (Fall II.). Entsprechend steigt der Inspirationsdruckverlauf **1** zu Beginn der dargestellten Zeitdauer τ_{Soll} zunächst auf $p_{\text{aw_Start}}$ (Fall I.) an, um nach Ablauf der Zeitdauer τ_{Soll} auf den Ziel-Atemwegsdruck $p_{\text{aw_Ziel}}$ abzufallen, oder im Falle II. über die Zeitdauer τ_{Soll} hinweg auf den Ziel-Atemwegsdruck $p_{\text{aw_Ziel}}$ anzusteigen.

[0042] Die Darstellung der **Fig. 6A** beschreibt den linearen Anstieg bzw. Abfall vom Start-Atemwegsdruck $p_{\text{aw_Start}}$ Start auf den Ziel-Atemwegsdruck $p_{\text{aw_Ziel}}$. **Fig. 6B** stellt demgegenüber jenen Fall dar, in welchem er nach Anstieg bzw. nach Abfall – einer Exponential-Funktion folgend – den Ziel-Atemwegsdruck $p_{\text{aw_Ziel}}$ annimmt. Die Zeitkonstante τ_{Soll} gibt in der Darstellung der **Fig. 6B** an, nach Ablauf welcher Zeit in der grafischen Darstellung eine Tangente (zum Zeitpunkt des Annehmens des Start-Atemwegsdrucks $p_{\text{aw_Start}}$ an die Inspirationsdruckverlaufkurve **1** gelegt) auf dem Druckniveau des Ziel-Atemwegsdrucks $p_{\text{aw_Ziel}}$ die Horizontale schneidet.

[0043] **Fig. 7** zeigt schematisch vereinfacht eine erfindungsgemäße Beatmungsvorrichtung **21** zum Beatmen eines Patienten **23**. Die Beatmungsvorrichtung **21** weist eine Einrichtung **25** zum Ausgestalten des Inspirationsdruckzeitverlaufs **1** auf. Sie weist ferner eine Einrichtung **27** zum Festsetzen einer Soll-Zeitkonstanten τ_{Soll} , eine Einrichtung **29** zum Ermitteln und/oder Einstellen der Zeitkonstanten τ sowie einer Einrichtung **31** zum Berechnen des rampenartigen Druckverlaufs auf.

[0044] Die Beatmungsvorrichtung **21** kann in weiteren, nicht in den Figuren wiedergegebenen, Ausführungsformen eine Einrichtung zur Bestimmung der Zeitkonstanten τ der Lungenmechanik mittels Regression und/oder Okklusionsmanöver aufweisen. Sie kann ferner eine Einrichtung zum Festsetzen des Start-Atemwegsdrucks $p_{\text{aw_Start}}$, eine Einrichtung zum Festsetzen einer Zeitkonstanten für den Anstieg des angelegten Beatmungsdrucks und eine Einrichtung

zum Berechnen des rampenartigen Druckverlaufs unabhängig voneinander aufweisen. Zudem weist die erfindungsgemäße Vorrichtung **21** eine Einrichtung zum Applizieren des rampenartigen Druckverlaufs auf.

[0045] Erfindungsgemäß wird somit erstmals ein Verfahren zum Betreiben einer Beatmungsvorrichtung mit einem Inspirationsdruckzeitverlauf, welcher einen Ziel-Atemwegsdruck und einen PEEP aufweist, vorgeschlagen, bei welcher der Inspirationsdruckzeitverlauf ausgehend von einem Start-Atemwegsdruck p_{aw_start} , welcher größer als der PEEP ist, in rampenartigem Druckverlauf den Ziel-Atemwegsdruck p_{aw_ziel} erreicht. Die Erfindung gibt ferner eine geeignete Vorrichtung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens an.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Beatmungsvorrichtung (**21**) mit einem Inspirationsdruckzeitverlauf (**1**), welcher einen Ziel-Atemwegsdruck (p_{aw_ziel}) und einen PEEP (**3**) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Inspirationsdruckzeitverlauf (**1**) ausgehend von einem Start-Atemwegsdruck (p_{aw_start}), welcher größer als der PEEP (**3**) ist, in rampenartigem Druckverlauf (**17**) den Ziel-Atemwegsdruck (p_{aw_ziel}) erreicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den Schritt Ausgestalten des rampenartigen Druckverlaufs (**17**) anhand der pulmonalen Erkrankung des zu beatmenden Patienten (**23**).

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, gekennzeichnet durch die Schritte
Festsetzen einer Soll-Zeitkonstanten (τ_{soll}) für eine zeitliche Dynamik der Füllung der Lunge;
Ermitteln der Zeitkonstanten (τ) der Lungenmechanik des Patienten (**23**); und
Berechnen des rampenartigen Druckverlaufs (**17**).

4. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch den Schritt Bestimmen der Zeitkonstanten (τ) der Lungenmechanik mittels Regression und/oder Okklusion.

5. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch den Schritt Einstellen der Zeitkonstanten (τ) der Lungenmechanik an der Beatmungsvorrichtung (**21**).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, gekennzeichnet durch die Schritte
Festsetzen des Start-Atemwegsdrucks (p_{aw_start});
Festsetzen einer Zeitkonstanten zur Bestimmung der Veränderung des angelegten Inspirationsdrucks über der Zeit; und
Berechnen des rampenartigen Druckverlaufs (**17**).

7. Beatmungsvorrichtung (**21**) zum Anlegen eines Inspirationsdruckzeitverlaufs (**1**), welcher einen Ziel-Atemwegsdruck (p_{aw_ziel}) und einen PEEP (**3**) aufweist, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (**25**) zum Ausgestalten des Inspirationsdruckzeitverlaufs (**1**), welcher ausgehend von einem Start-Atemwegsdruck (p_{aw_start}), welcher größer als der PEEP (**3**), ist, den Ziel-Atemwegsdruck (p_{aw_ziel}) in rampenartigem Druckverlauf (**17**) erreicht.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch
eine Einrichtung (**27**) zum Festsetzen einer Soll-Zeitkonstanten (τ_{soll}) für eine zeitliche Dynamik der Füllung der Lunge;
eine Einrichtung (**29**) zum Ermitteln und/oder Einstellen der Zeitkonstanten (τ) der Lungenmechanik des Patienten (**23**); und
eine Einrichtung (**31**) zum Berechnen des rampenartigen Druckverlaufs (**17**).

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Bestimmen der Zeitkonstanten (τ) der Lungenmechanik mittels Regression und/oder Okklusionsmanöver.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch
eine Einrichtung zum Festsetzen des Start-Atemwegsdrucks (p_{aw_start});
eine Einrichtung zum Festsetzen einer Zeitkonstanten zur Bestimmung der Veränderung des angelegten Inspirationsdrucks über der Zeit; und
eine Einrichtung zum Berechnen des rampenartigen Druckverlaufs (**17**).

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

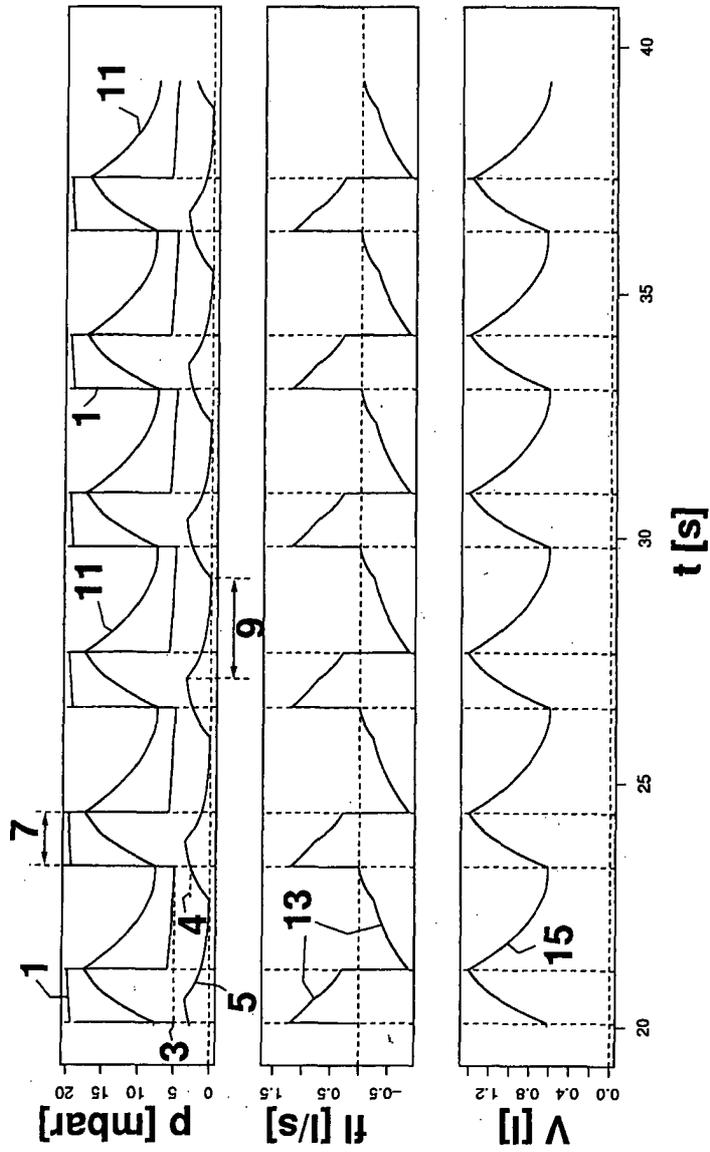


Fig. 1

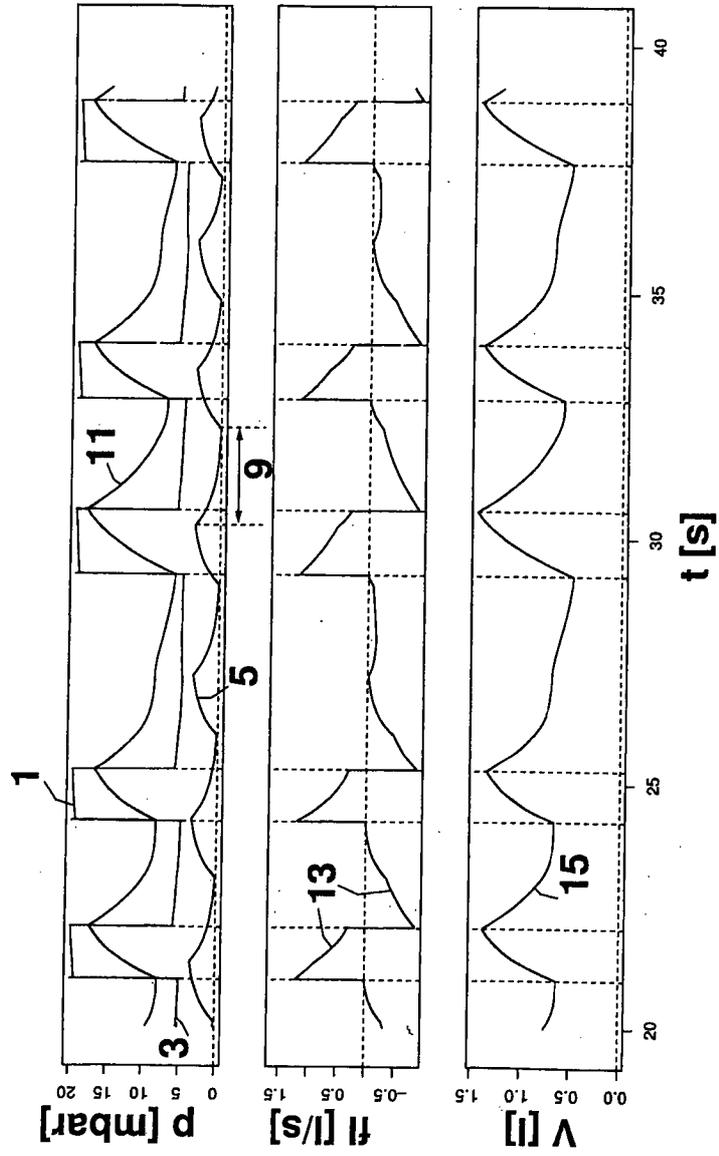


Fig. 2

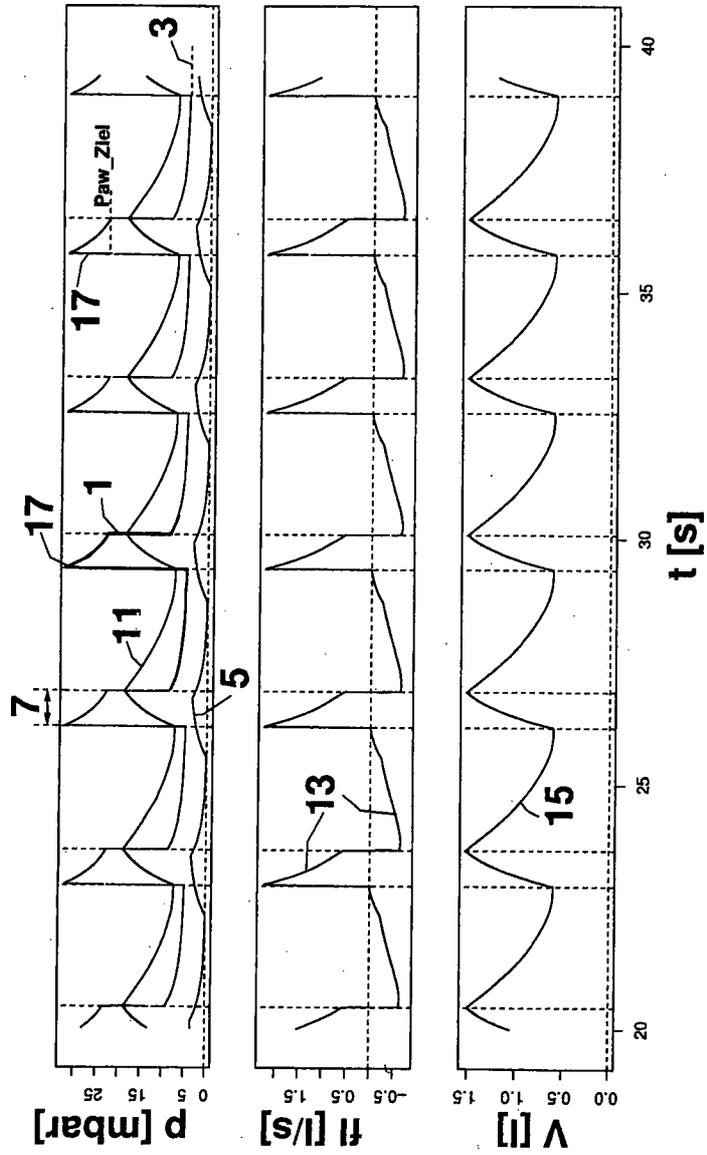


Fig. 4

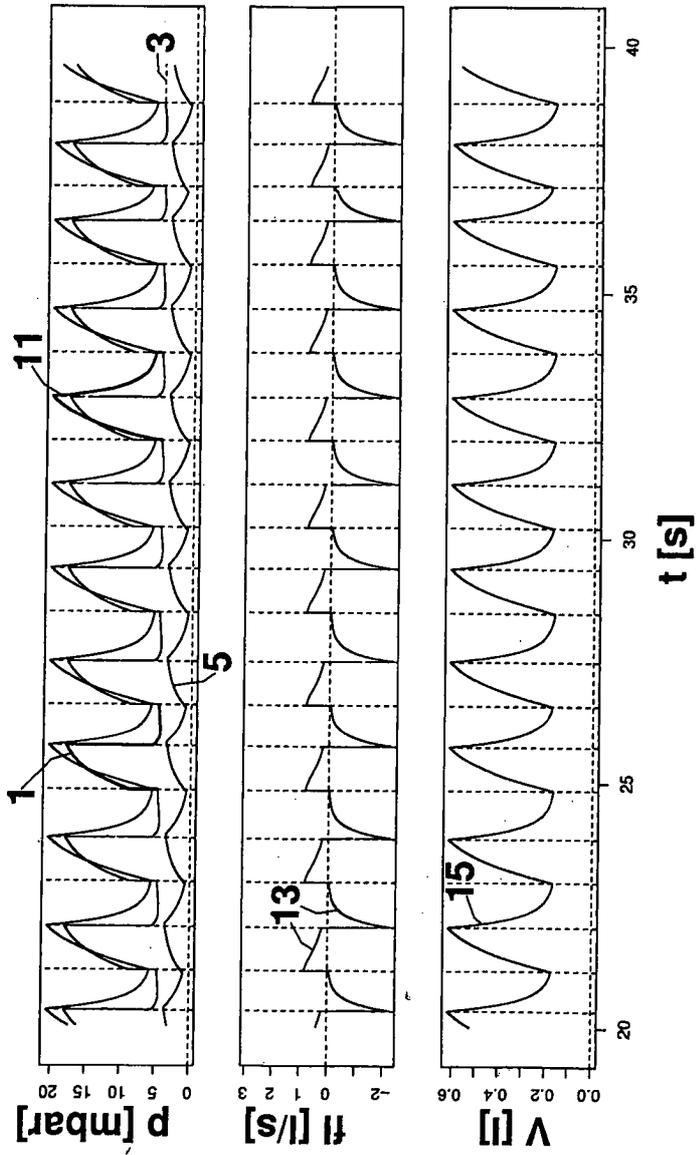


Fig. 5

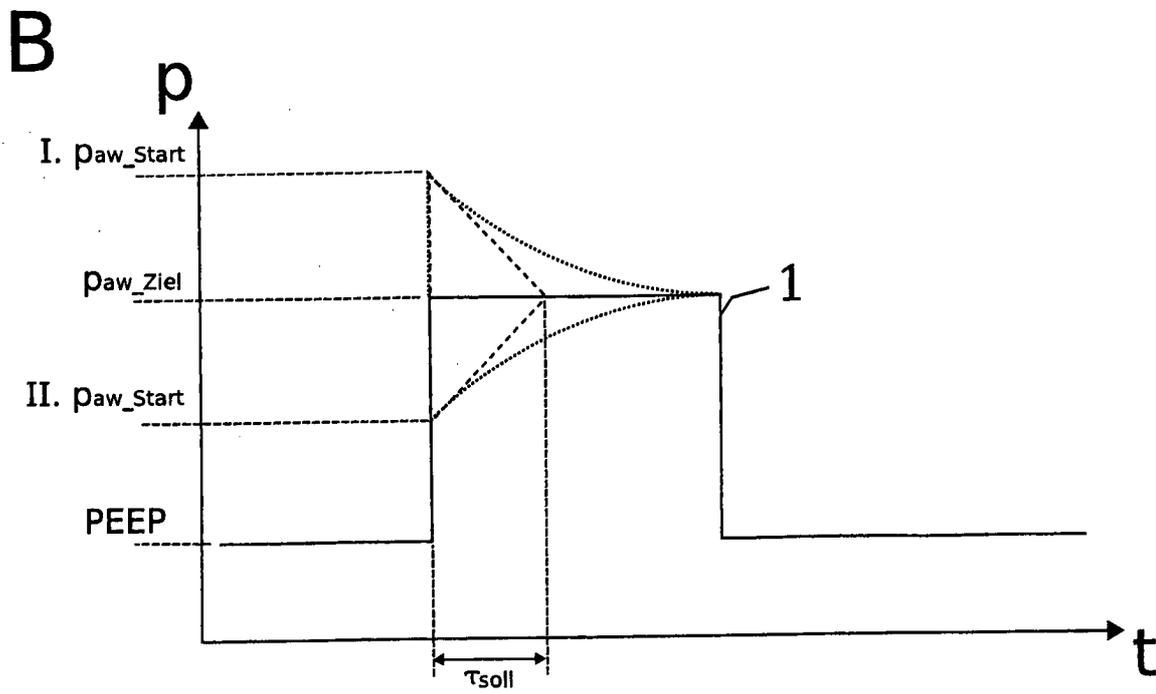
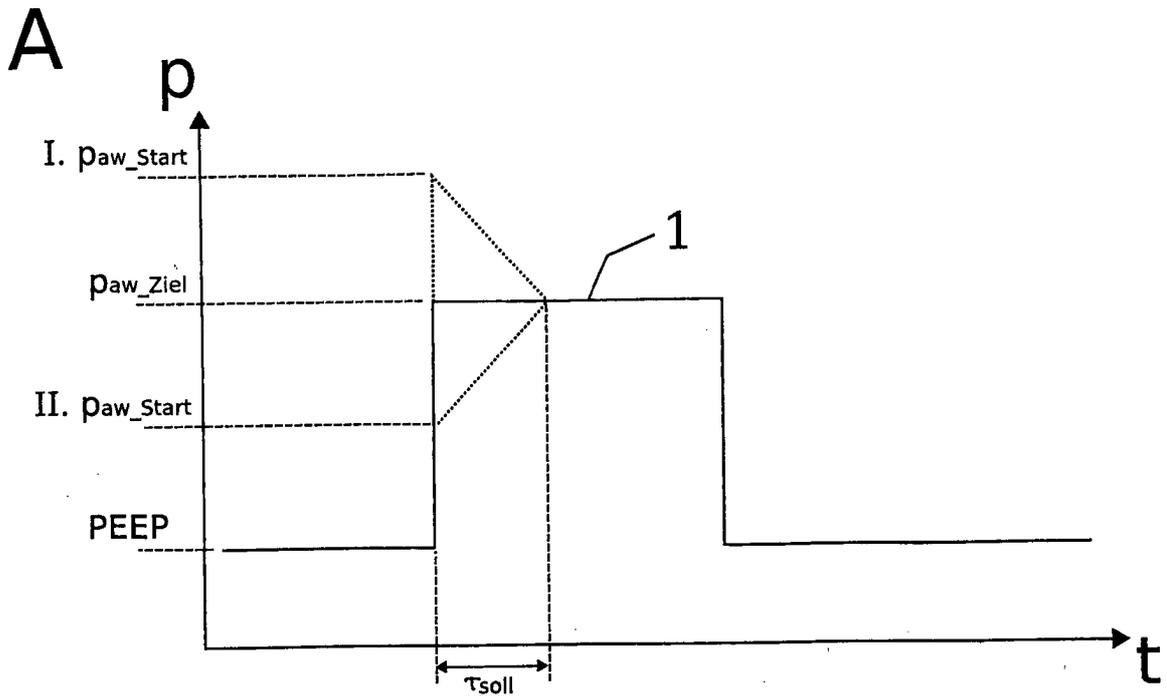


Fig. 6

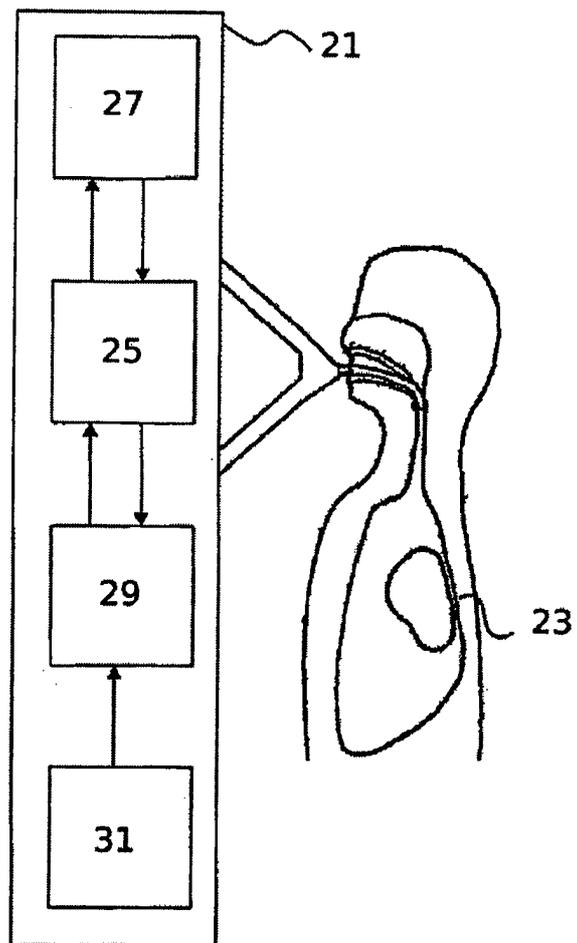


Fig. 7