

Elektrische Impedanztomographie

Neue Ansätze für die Steuerung der Beatmungstherapie und die Vermeidung von Lungenschäden. Das Interesse der Wissenschaft an der elektrischen Impedanztomographie (EIT) ist seit über 20 Jahren stetig gewachsen.



Diese Technologie leistet nachweislich einen ergänzenden Beitrag für das Monitoring, die Quantifizierung und die Bewertung therapeutischer Maßnahmen und ergänzt andere Verfahren des respiratorischen Monitorings auf effektive Weise. Verschiedene Forschungsgruppen haben EIT-Prototypen entwickelt und bereits zahlreiche experimentelle und klinische Studien durchgeführt. Bei einem Großteil dieser Studien war die Validierung der EIT-Daten grundlegender Bestandteil. In diesen Studien konnte eine gute Korrelation mit anderen Methoden nachgewiesen werden. Die regionale Ventilationsverteilung wurde verglichen mit CT¹, EBCT², SPECT³, Veränderungen des end-expiratorischen Lungenvolumens mittels Stickstoff-Auswaschverfahren⁴ und Massenspektrometrie⁵. Die Lungenperfusion wurde mit Radionuklid-Scanning⁶ und EBCT⁷ verglichen. In vielen Studien wurde in den Schlussfolgerungen auch betont, dass EIT das Potenzial in sich birgt, als nützliches Monitoringverfahren am Patientenbett eingesetzt zu werden^{1, 8, 9, 10, 11, 12, 17}.

EIT-FORSCHUNG BEI DRÄGER

Dräger Medical ist von Beginn an davon überzeugt gewesen, dass EIT ein enormes Potenzial an bislang nicht verfügbaren klinischen Informationen in sich trägt. Bereits vor über fünf Jahren rief Dräger ein EIT - Forschungsprojekt ins Leben, das eine sehr grundlegende Frage beantworten sollte: Wird sich EIT zu einem klinischen Verfahren für die tägliche Routine entwickeln, oder wird diese Technologie aufgrund der bisher damit verbundenen Einschränkungen eher der Forschung vorbehalten bleiben?

Heute ist ein Ergebnis dieses Forschungsprojektes bereits sicher: Dräger

Medical ist auf dem besten Weg ein EIT-System zu entwickeln, das in der klinischen Routine bei quasi jedem Patienten schnell, zuverlässig und effektiv eingesetzt werden kann. Aufgrund dieses Fortschrittes ist Dräger Medical sogar überzeugt, dass EIT-Systeme zukünftig nahezu so einfach bedient werden können wie konventionelle Patientenmonitore. Derzeit führen verschiedene klinische Kooperationspartner Studien mit Dräger EIT-Prototypen durch, um die Zuverlässigkeit der EIT-Messungen, die klinische Handhabung, die Präsentation der Daten und die Verwendbarkeit von EIT für die bettseitige Bewertung der Ventilationsverteilung sowie für die Steuerung der Beatmungstherapie zu bewerten.

Die Möglichkeiten zur Überwachung und Quantifizierung sowohl der Ventilationsverteilung als auch der Änderungen des Lungenvolumens legen nahe, dass EIT ein äußerst hilfreiches Verfahren für den Einsatz am Patientenbett darstellen könnte. Dräger Medical beschäftigt sich derzeit mit der Definition der Anforderungen für ein kommerzielles Produkt, um Anwendern diese vielversprechende Technologie für die tägliche intensivmedizinische Routine zur Verfügung stellen zu können.

Dräger Medical erwartet, dass der klinische Wert der mittels EIT gewonnenen Informationen noch steigen wird, wenn diese am intensivmedizinischen Arbeitsplatz auf intelligente Weise zu anderen respiratorischen und hämodynamischen Parametern in Bezug gesetzt werden. Es ist zu erwarten, dass EIT letztlich einen weiteren wichtigen Baustein bei der Entwicklung eines umfassenderen klinischen Bildes beatmeter Patienten darstellen wird.

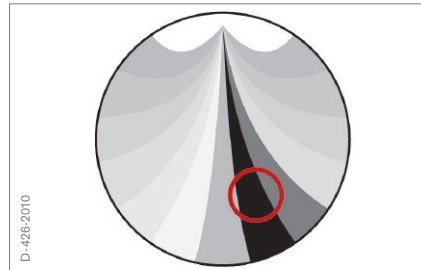


Abb. 2: Spannungspromil eines homogenen Objektes mit Stromspeisung an der oberen Position. Der rote Kreis stellt einen Bereich erhöhter Impedanz dar, der zu höheren Spannungen (dunkelgrau) „hinter“ diesem Bereich führt.

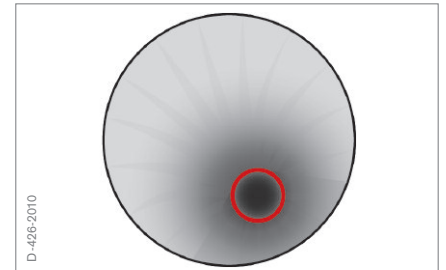


Abb. 3: EIT-Bilder werden durch Überlagerung der 16 Spannungspromile zu einem einzelnen Bild erzeugt, auf dem dann der Bereich der erhöhten Impedanz zu sehen ist.

FUNKTIONSWEISE DER EIT

Es ist bekannt, dass sich der Luftgehalt auf die bioelektrischen Eigenschaften des Lungengewebes auswirkt. Folglich führen Änderungen des Lungenvolumens aufgrund der Beatmung zu Veränderungen der thorakalen Impedanz.

Zur Überwachung von thorakalen Impedanzänderungen müssen Elektroden um den Brustkorb des Patienten angelegt werden. Über ein Elektrodenpaar wird ein sehr kleiner Strom in den Körper eingespeist, während die resultierenden Spannungen gleichzeitig an übrigen Elektrodenpaaren gemessen werden (Abb. 1).

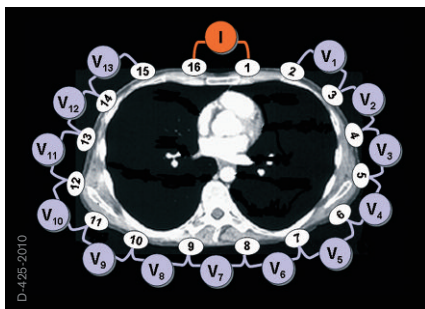


Abb. 1: Über ein erstes Elektrodenpaar wird ein sehr geringer Strom in den Thorax eingespeist, während die restlichen 13 Elektrodenpaare die daraus resultierenden Spannungssignale und deren Veränderungen messen.

Bei der EIT wird die Position der Stromspeisung um den Körper rotiert, so dass die Stromspeisung nachfolgend an allen Elektrodenpaaren erfolgt. Nach jeder vollständigen Rotation kann ein Schnittbild durch Überlagerung der Spannungspromile jeder einzelnen Stromspeisung berechnet werden (Abb. 2, 3).

EIN VERFAHREN ZUR THERAPIEOPTIMIERUNG

Zur Zeit sind Thorax-Röntgenaufnahmen und CT - Bilder die einzigen auf breiter Basis verfügbaren Technologien, die regionale Informationen über die Lunge bereitstellen. Während diese Techniken Momentaufnahmen morphologischer Strukturen mit hoher räumlicher Auflösung liefern, bietet EIT funktionale Bilder mit einer recht niedrigen räumlichen, jedoch sehr hohen zeitlichen Auflösung (Abb. 4). Das bedeutet, dass der Arzt nach Auswertung der radiologischen Bilder die Reaktion der Lunge auf therapeutische Maßnahmen bei jedem einzelnen Atemzug verfolgen kann. Demnach könnte EIT als ergänzendes Verfahren zu radiologischen Techniken eingesetzt werden, um die Lungenfunktion des Patienten zu überwachen.

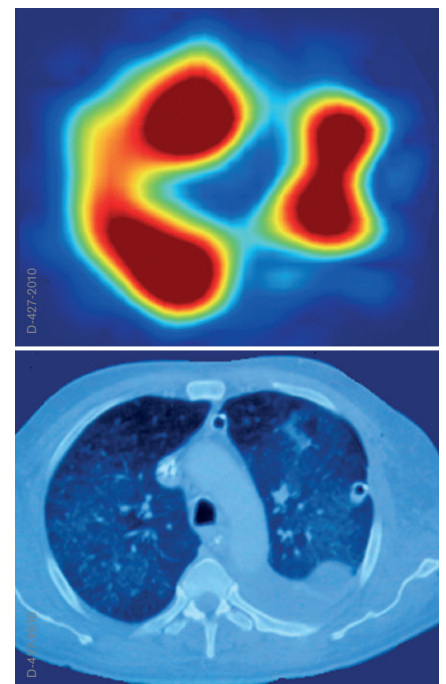


Abb.4: Funktionelles EIT-Bild (links) und CT-Scan von einem Patienten mit Pleuraerguss nach Zwerchfellruptur, der zu einer erheblich verringerten Ventilation der unteren linken Lunge führt. Die Regionen mit den höchsten Volumenveränderungen sind rot markiert; die nicht ventilerten Regionen sind in dunkelblau dargestellt.

KONTINUIERLICHE NICHTINVASIVE ÜBERWACHUNG AM PATIENTENBETT

EIT ist nichtinvasiv, und es sind keine Risiken oder Nebenwirkungen bekannt. Dank dieser Kombination eignet sich EIT sehr gut für die kontinuierliche respiratorische Überwachung von Intensivpatienten direkt am Patientenbett.

SOFORTIGE BEWERTUNG DER THERAPIEMAßNAHMEN

Gegenwärtig nutzen Ärzte regelmäßig radiologische Aufnahmen zur Bewertung der regionalen Ventilationsverteilung, welche die Fähigkeit der Lunge zum Gasaustausch wesentlich beeinflusst. Für viele therapeutische Maßnahmen, wie beispielsweise die Einstellung des Beatmungsgerätes, Rekrutment Manöver, Patientenpositionierung und Thoraxdrainage, ist es äußerst vorteilhaft, sofortiges Feedback bei jedem einzelnen Atemzug zu erhalten, um die Wirksamkeit der Maßnahme beurteilen zu können. Neben den EIT-Bildern ermöglichen auch Echtzeit-Impedanzkurven und abgeleitete Parameter eine einfache Quantifizierung.

Wenn diese Informationen am Patientenbett zur Verfügung stehen, kann beispielsweise auch die Optimierung der PEEP-Einstellungen^{1,17} einfacher und genauer erfolgen. Darüber hinaus kann mit EIT der Beitrag der Spontanatmung zu einer homogenen Ventilation verfolgt werden.

REGIONALE COMPLIANCE

Amato et al. haben beschrieben, dass eine an PV-Loops orientierte, protektive Beatmungsstrategie bei mechanisch beatmeten Patienten zu einer besseren Überlebensrate führen kann¹³. Durch gemeinsame Aufzeichnung der EIT-Daten und der Druckkurve des Beatmungsgerätes kann bei langsamer Inflation die regionale

Compliance bestimmt werden. Bei mechanisch beatmeten Patienten mit nicht homogener Lungenmechanik kann sich die regionale Druck-/Volumenbeziehung deutlich von typischen globalen Druck-/Volumenkurven unterscheiden, welche die mechanischen Eigenschaften der gesamten Lunge beschreiben. Die Kenntnis dieser variierenden mechanischen Eigenschaften, die durch regionale Inflection Points (Abb. 5)¹⁴ dargestellt werden, kann dem Anwender bei der präziseren Einstellung der Beatmung helfen, mit dem Ziel, regionale Lungenschäden zu vermeiden.

BESSERE BEURTEILUNG VON EELV-VERÄNDERUNGEN

Es liegt auf der Hand, dass eine Erhöhung des end-expiratorischen Lungenvolumens (EELV) nicht unbedingt für den

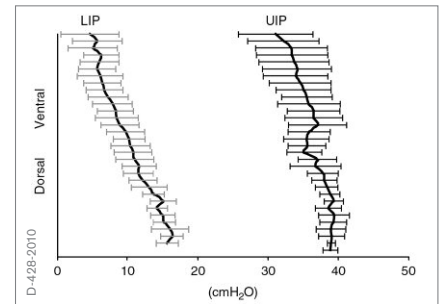


Fig. 5: Regional lower (LIP) and upper (UIP) inflection points of nine mechanically ventilated patients in the dorsal to ventral direction in an approximate 3 cm slice of the thorax measured by electrical impedance tomography (EIT) (mean and standard deviation).

Patienten günstig ist. Mit EIT könnte der Anwender erkennen, ob die Erhöhung des EELV hauptsächlich auf die Wiedereröffnung atelektatischer Lungenregionen zurückzuführen war oder eher durch eine Überblähung verursacht wurde (Abb. 6).

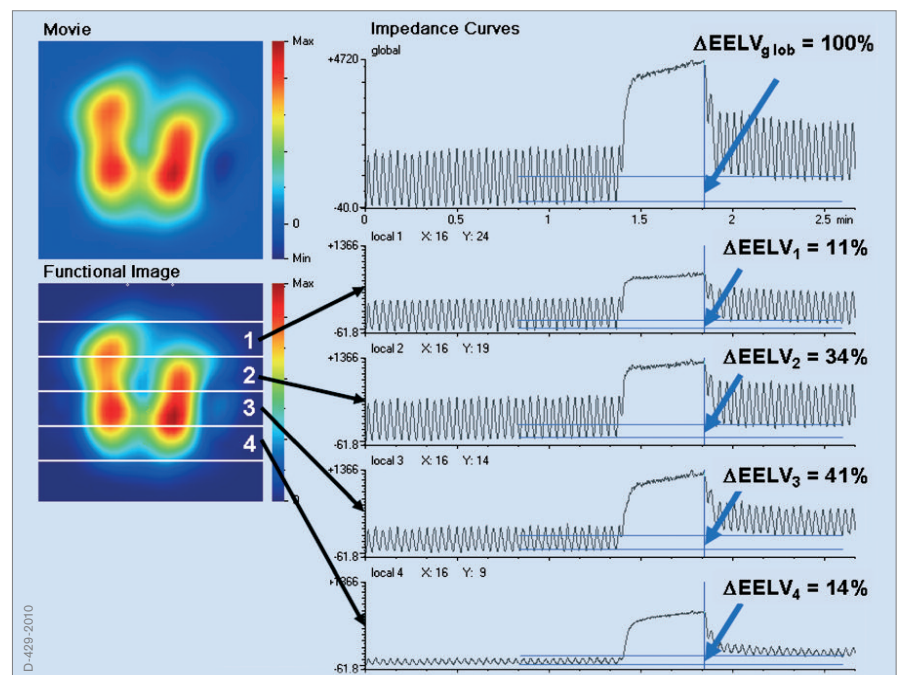


Abb. 6: Änderungen des EELV nach einem Blähmanöver. Die obere Kurve stellt globale Impedanzänderungen infolge von Volumenänderungen innerhalb der gesamten Schnittebene dar. Die vier unteren Kurven repräsentieren lokale Impedanzänderungen einzelner Regionen, die im Funktionsbild definiert werden können (hier in ventrodorsaler Anordnung). In diesem Patienten nahm das EELV hauptsächlich in der Region 3 zu (41%).

LUNGENPERFUSION

Wenn EIT-Daten in der Bandbreite der Herzfrequenz gefiltert werden, können Veränderungen der Lungenperfusion und der Herzrhythmickeit ebenfalls mit EIT dargestellt und quantifiziert werden¹⁶. So könnte beispielsweise die Verringerung der Lungenperfusion aufgrund eines Rekrutment - Manövers durch EIT direkt überwacht und quantifiziert werden. Die Verteilung der Lungenperfusion könnte zur Verteilung der Ventilation in Bezug gesetzt werden und so das Ventilations-/ Perfusionsverhältnis kontinuierlich überwacht werden. Solch eine bildliche Darstellung in Kombination mit numerischen Parametern könnte dem Anwender einen noch besseren Einblick verschaffen, warum der Gasaustausch des Patienten möglicherweise beeinträchtigt sein könnte.

VERMEIDUNG VON KOMPLIKATIONEN

Wenn die Anwender genügend Erfahrungen mit der Online-Interpretation von EIT-Daten gesammelt haben, könnte sich diese Technologie als ein wichtiges diagnostisches Verfahren für die Behandlung ateminsuffizienter Intensivpatienten etablieren.

Mit Hilfe dieser neuartigen Informationen kann der Arzt möglicherweise die wichtigsten Einstellungen des Beatmungsgerätes optimieren, insbesondere den inspiratorischen Druck und den PEEP. Dabei steht immer das Ziel im Vordergrund, durch eine homogenere Ventilation einen besseren Gasaustausch zu erzielen, Atelektasen, tidales Rekrutment und Überblähungen zu erkennen und zu minimieren. All das kann zu einer Verringerung durch Beatmung hervorgerufener Lungenschäden beitragen.

BISHERIGE LIMITATIONEN BEIM EINSATZ VON EIT IN DER KLINISCHEN ROUTINE

Obwohl die ersten EIT -Prototypen bereits vor über 25 Jahren entwickelt wurden, hat sich der Einsatz von EIT bisher auf eine recht kleine Anzahl von Experten und Forschungsgruppen beschränkt. Diese Gruppen verwenden fortlaufend diese Technologie im Kontext mit verschiedenen wissenschaftlichen und klinischen Fragestellungen. Es scheint jedoch, dass die „Suche nach dem Heiligen Gral“¹⁶ deutlich länger dauert als ursprünglich angenommen. Dies wirft die Frage auf, aus welchen Gründen EIT noch nicht seinen Platz in der täglichen klinischen Routine gefunden hat, den diese Technologie offensichtlich verdient.

Der Umstand, dass EIT heute noch nicht als praktisches klinisches Verfahren am Patientenbett eingesetzt wird, ist wahrscheinlich auf die Wahrnehmung zurückzuführen, dass die bislang verwendeten EIT- Geräte noch nicht ausreichend an die speziellen Anforderungen für den rauen Einsatz auf Intensivstationen angepasst sind, wofür verschiedene Gründe angeführt werden können: Bei Patienten mit massiven Lungen- oder Gewebsödemen können die durch Beatmung auftretenden winzigen Impedanzänderungen jedoch bis zu zehnmal kleiner als bei gesunden Personen sein. Viele Prototypen waren bisher aufgrund ihrer Messtechnik einfach nicht in der Lage, die Lungen- und Herzrhythmickeit dieser Patienten zu erkennen. Doch in der klinischen Praxis sind es eben gerade Patienten mit akuten Lungenschäden und damit verbundenen Lungenödemen, die wahrscheinlich am meisten von einem EIT - Monitoring profitieren würden. In der Vergangenheit mussten außerdem¹⁶ (oder



„Meine generelle Vorstellung von EIT ist die, dass diese Technologie uns in der Behandlung von Beatmungspatienten einen Riesenschritt weiter bringt. Ich glaube, dass EIT ein neues Verständnis für die Behandlung von Patienten mit ungleichmäßig verteilten Lungenerkrankungen sowie für Rekrutment und PEEP- Optimierung bringen wird. Auch wenn EIT weniger scharfe Bilder als die Computertomographie liefert, steht die Technologie doch kontinuierlich am Patientenbett zur Verfügung. Das ist wirklich fantastisch.“

Prof. Dr. med. Ola Stenqvist, 2005
Abt. für Anästhesie und Intensiv -
medizin, Sahlgrenska University
Hospital, Göteborg, Schweden

sogar 32) einzelne Elektroden auf dem Thorax des Patienten angebracht und an das jeweils richtige Kabel angeschlossen werden. Selbst für eine gut geübte Pflegekraft führte dies normalerweise in der klinischen Umgebung zu einer Vorbereitungszeit von etwa 20 Minuten, bevor die erste EIT- Messung durchgeführt werden konnte. Im Rahmen wissenschaftlicher Studien ist solch eine orbereitungszeit akzeptabel, in der normalen klinischen Praxis jedoch sicherlich nicht.

Selbst nach Aufzeichnung der EIT- Daten konnten die klinischen Informationen nicht schnell genug aus den EIT-Daten extrahiert und angezeigt werden, um den Nutzen von EIT für die Bewertung therapeutischer Maßnahmen nachzuweisen. Die verschiedenen EIT-Softwareprogramme, die bislang entwickelt worden sind, sind primär auf die Offline-Analyse von EIT-Daten optimiert, um wissenschaftliche Fragestellungen möglichst flexibel bearbeiten zu können. Diese Programme versetzen die Anwender jedoch nicht in die Lage, die EIT Daten direkt am Patientenbett Online zu interpretieren.

Da EIT-Messungen sehr zeitaufwändig und gelegentlich artefaktbehaftet waren und zudem die Interpretation dieser Daten nicht direkt am Patientenbett möglich war, konnten die Anwender nicht genug Erfahrung mit der Interpretation der EIT-Daten und darauf basierenden Einstellungen des Beatmungsgerätes sammeln.

Dräger Medical ist jedoch davon überzeugt, dass EIT in der Intensivmedizin auf breiter Basis angewandt werden wird, sobald diese Technologie in der Lage ist, zuverlässige und leicht zu interpretierenden Daten zu liefern. Und auf Grundlage unserer bisherigen Ergebnisse sind wir zuversichtlich, dass dies in nicht allzu weiter Ferne sein wird.

LITERATURE

1. **Victorino JA et al** (2004) Imbalances in regional lung ventilation: a validation study on electrical impedance tomography. *Am J Respir Crit Care Med* 169:791-800
2. **Frerichs I et al** (2002) Detection of local air content by electrical impedance tomography compared with electron beam CT. *J Appl Physiol* 93:660-666
3. **Hinz J et al** (2003) Regional ventilation by electrical impedance tomography: a comparison with ventilation scintigraphy in pigs. *Chest* 124:314-322
4. **Hinz J et al** (2003) End-expiratory lung impedance change enables bedside monitoring of end-expiratory lung volume change. *Intensive Care Med* 29:37-43
5. **van Genderingen HR et al** (2004) Regional lung volume during high-frequency oscillatory ventilation by electrical impedance tomography. *Crit Care Med* 32:787-794
6. **Kunst PW et al** (1998) Ventilation and perfusion imaging by electrical impedance tomography: a comparison with radionuclide scanning. *Physiol Meas* 19:481-490
7. **Frerichs I et al** (2002) Regional lung perfusion as determined by electrical impedance tomography in comparison with electron beam CT imaging. *IEEE Trans Med Imaging* 21(6):646-52
8. **Hinz J et al** (2005) Effect of positive end-expiratory pressure on regional ventilation in patients with acute lung injury evaluated by electrical impedance tomography. *Eur J Anaesth* 22:817-825
9. **Frerichs I et al** (1998) Electrical impedance tomography in monitoring experimental lung injury. *Intensive Care Med* 24:829-836
10. **Frerichs I et al** (2003) Electrical impedance tomography: a method for monitoring regional lung aeration and tidal volume distribution? *Intensive Care Med* 29:2312-2316
11. **Frerichs I et al** (2001) Non-invasive radiation-free monitoring of regional lung ventilation in critically ill infants. *Intensive Care Med* 27:1385-1394
12. **Odenstedt H** (2005) Slow moderate pressure recruitment maneuver minimizes negative circulatory and lung mechanic side effects: evaluation of recruitment maneuvers using electric impedance tomography. *Intensive Care Med* 31:1706-1714
13. **Amato MB et al** (1998) Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 338:347-54.
14. **Hinz J et al** (2006) Regional pulmonary pressure volume curves in mechanically ventilated patients with acute respiratory failure measured by electrical impedance tomography. *Acta Anaesthesiol Scand* 50:331-339
15. **Frerichs I et al** (2002) Regional lung perfusion as determined by electrical impedance tomography in comparison with electron beam CT imaging. *IEEE Trans Med Imaging* 21(6):646-52
16. **Arnold JH** (2004) Electrical impedance tomography: On the path to the Holy Grail. *Crit Care Med* 32:894-895
17. **Erlandson K et al** (2006) Positive end-expiratory pressure optimization using electric impedance tomography in morbidly obese patients during laparoscopic gastric bypass surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 50:833-839

HAUPTSITZ

Drägerwerk AG & Co. KGaA
Moislinger Allee 53–55
23558 Lübeck, Deutschland

www.draeger.com

DEUTSCHLAND

Dräger Medical Deutschland GmbH
Moislinger Allee 53–55
23558 Lübeck
Tel +49 180 52 41 318*
Fax +49 451 88 27 20 02
dsc@draeger.com
* Inland: EUR 0,14/min

ÖSTERREICH

Dräger Medical Austria GmbH
Perfektastrasse 67
1230 Wien
Tel +43 1 609 04
Fax +43 1 699 38 01
info-austria@draeger.com

SCHWEIZ

Dräger Medical Schweiz AG
Waldeggstrasse 38
3097 Liebfeld-Bern
Tel +41 31 978 74 74
Fax +41 31 978 74 01
info.ch.md@draeger.com

Hersteller:

Dräger Medical GmbH
23542 Lübeck, Deutschland
Das Qualitätsmanagementsystem
der Dräger Medical GmbH
ist zertifiziert nach den Normen
ISO 13485, ISO 9001 und nach
Anhang II.3 der Richtlinie
93/42/EWG (Medizinprodukte).