



D-91-2010

Mini-Handbuch Elektro-Impedanz-Tomografie (EIT)

Gerätehandhabung, Anwendungstipps und Beispiele

Mit diesem Handbuch soll der Anwender beraten werden. Alle Angaben wurden nach bestem Wissen zusammengestellt. Eine Verbindlichkeit kann aus ihnen jedoch nicht abgeleitet werden.

Die in diesem Handbuch angegebenen Informationen und Daten unterliegen technischen Änderungen. Für den Gebrauch der Dräger-Produkte gelten stets die den Produkten beigefügten Gebrauchsanweisungen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der markenschutzrechtlichen Regelungen als frei zu betrachten sind und daher von jedermann benutzt werden dürften. Die Informationen entsprechen dem Stand des Redaktionsschlusses.

Eine Haftung für den Inhalt wird nicht übernommen.

Technische Daten: Änderungen vorbehalten!

3. überarbeitete Auflage April 2019

© 2019 Drägerwerk AG & Co. KGaA

Moislinger Allee 53–55 · 23558 Lübeck

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

	Seite
EINLEITUNG	6
1. VORBEREITUNG DES GERÄTS FÜR DEN KLINISCHEN EINSATZ	7
1.1. Einschalten und Gerätetest	7
1.2. Wahl und Applikation des Elektrodengürtels	8
1.2.1. Wahl des richtigen Gürtels	8
1.2.2. Patientenkabel mit dem Elektrodengurt verbinden	10
1.2.3. Vorbereitung des Patienten vor dem Anlegen des Gürtels	11
1.2.4. Vorbereitung des EIT-Gürtels	12
1.2.5. Ausrichtung des EIT-Gürtels am Oberkörper	12
1.2.6. Allgemeine Vorgehensweise beim Anlegen des EIT-Gürtels	12
1.3. Prüfung der Signalqualität	16
1.4. Einstellungen vor dem Start der EIT-Messung	17
1.5. Starten der EIT-Session	18
1.6. Sonderfall: 15-Elektroden-Modus	18
1.7. Prüfung der richtigen Gürtelposition	19
2. BILDSCHIRMANSICHTEN UND IHRE SPEZIELLEN EIGENSCHAFTEN	21
2.1. Referenzierung	23
2.2. Regions of Interest (ROI)	24
2.3. Trendansichten – end-inspiratorisch und end-expiratorisch	26
2.4. Diagnostic View	28
4.4.1. Dialog Fenster Analyse durchführen	28
4.4.2. Ergebnisse der Analyse	29
2.5. Kontur des ventilierten Bereichs	32
2.6. Negative Impedanzänderungen (Bildartefakte)	33
2.7. Filterung	34
2.8. Bild speichern und aufnehmen	36
2.9. Kopplung eines Dräger-Beatmungsgeräts mit Pulmovista® 500	37
2.10. Bildrate	38

	Seite
3. KLINISCHE BEISPIELE	39
3.1. Identifizierung eines Responders/Non-Responders nach RM	39
3.2. Identifizierung von De-Recruitment	42
3.3. Identifizierung von Überdehnungen	44
3.4. Regionale Impedanzmessung als additive Methode zur Best-PEEP-Findung	46
3.5. Einfluss der Lagerung auf die Ventilation	49
3.6. Patientenpositionierung Bauchlage	50
3.7. Intubationskontrolle	50
3.8. Patient mit Pleuraerguss	51
3.9. Δ EELI-Trend nach Absaugung	51
3.10. Klinische Fallbeispiele	52
3.10.1. Best-PEEP-Trial mit Δ EELI-Trend	52
3.10.2. PEEP-Einstellung unter EIT Kontrolle	56
3.10.3. Regionale Ventilationsstörung bei Pneumothorax	59
3.10.4. Regionale Ventilationsstörung bei Pleuraerguss	63
4. EIT-TERMINOLOGIE	68
5. LIMITATIONEN DER ANWENDUNG	70

Einleitung

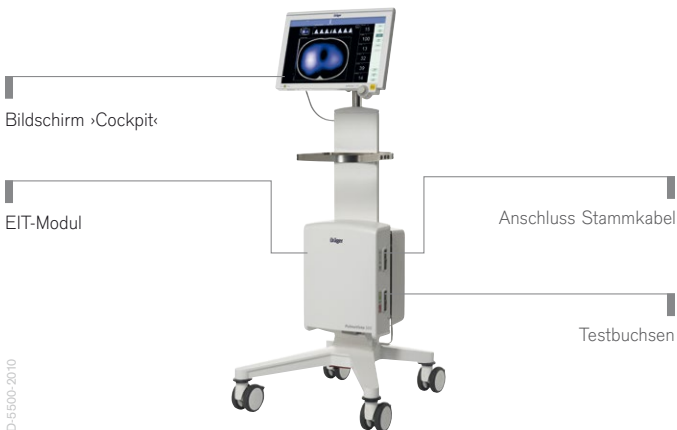
Willkommen in der Welt der Elektroimpedanztomografie (EIT).

PulmoVista® 500 ist das erste zugelassene EIT-Gerät, das sich bereits seit vielen Jahren im klinischen Einsatz befindet.

Die EIT ist ein nicht-invasives bildgebendes Verfahren, das Ihnen einen besonderen Blick in die Lunge ermöglicht. In einer cross-sektionalen Projektion wird die Verteilung des Atemzugvolumens im Thorax dargestellt. In dieser Darstellung erkennt man ventilierte und nicht-ventilierte Bereiche der Lunge, sowie deren Änderungen in Abhängigkeit der Zeit. Das Gerät lässt sich in verschiedenen Situationen im klinischen Alltag einsetzen. Sie haben die Möglichkeit, bettseitig den Lungenzustand Ihrer Patienten zu untersuchen, therapeutische Maßnahmen in Echtzeit zu verfolgen und zu verifizieren.

Dieses Handbuch soll Ihnen bei der Anwendung dieses Geräts zur Seite stehen sowie Tipps und Besonderheiten vermitteln, um die dargebotenen Informationen praxisgerecht umsetzen zu können.

PulmoVista® 500



1. Vorbereitung des Geräts für den klinischen Einsatz

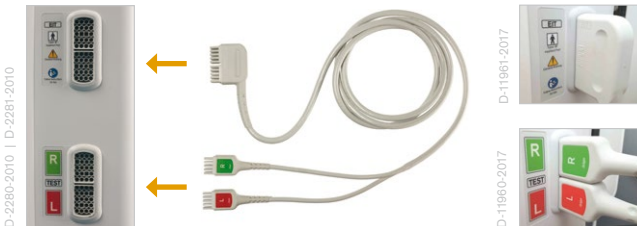
1.1. EINSCHALTEN UND GERÄTETEST

Drücken Sie zum Einschalten den grünen Einschaltknopf in der linken unteren Ecke des Bildschirms. Nach dem Einschalten leuchtet dieser hellgrün.

Der Gerätetest stellt sicher, dass alle Komponenten des Geräts und des Stammkabels (Kabel vom Gerät zum Patienten) einwandfrei funktionieren.



1. Stellen Sie sicher, dass sich das Gerät im Standby-Modus (Start/Standby) befindet.
2. Stecken Sie den Hauptstecker des Stammkabels in die obere Buchse und die farblich markierten Einzelstecker in die jeweilige Testbuchse (rechts = grün, links = rot) des EIT-Moduls, siehe Abbildung.



3. Tippen Sie den Seitenreiter ›Gerätecheck‹ an.
4. Drücken Sie die Start-Taste und bestätigen Sie mit dem Drehknopf.
5. Der Gerätecheck läuft automatisch ab. Warten Sie, bis die Prüfphase abgeschlossen ist. Das Gerät gibt anschließend das Prüfergebnis bekannt.








Sollte der Gerätecheck fehlschlagen, prüfen Sie die Meldung und ggf. die Steckverbindungen. Bei Fortbestehen des Problems nehmen Sie das Gerät außer Betrieb und kontaktieren Sie den Kundendienst.

1.2. WAHL UND APPLIKATION DES ELEKTRODENGÜRTELS

1.2.1. Wahl des richtigen Gürtels

Für die Anwendung wird ein EIT-Gürtel benötigt. Dieser besteht aus einem elastischen Elektrodengurt (16 Elektroden) und einem aufsteckbaren Patientenkabel. Um ein möglichst großes Patientenspektrum abzudecken, stehen fünf Gürtelgrößen, von 70 cm bis 150 cm Thoraxumfang, zur Verfügung. Elektrodengurt und Patientenkabel sind der Größe nach gekennzeichnet und farbig abgesetzt. Sowohl der Elektrodengurt als auch das Patientenkabel sind Mehrwegartikel und wischdesinfizierbar.

Größentabelle

	Größe in cm	Größe in inch
	124 – 150	49 – 59
	106 – 127	42 – 50
	92 – 110	36 – 43
	80 – 96	31 – 38
	70 – 85	28 – 33



Wie finde ich die richtige Gürtelgröße?

a. Gürtelbestimmung mit Hilfe des PulmoVista® 500 Maßbands

Gemessen wird vom »weißen« Ende des Bands ca. 5 cm unterhalb der Armbeuge zwischen den Axillae (4.–6. ICR). Die entsprechende Farbmarkierung bzw. Kennzeichnung gibt die Gürtelgröße vor. Befindet sich der Bereich in der Übergangszone Ü, so ist der nächstgrößere Gürtel zu empfehlen.



b. Gürtelbestimmung anhand des Elektrodengurts

Haben Sie kein Maßband zur Hand, bietet sich die folgende Methode an: Wählen Sie einen nach Ihrer Meinung passenden Elektrodengürtel. Der Elektrodengürtel weist eine Mittenmarkierung **1** auf. Diese halten Sie ca. 5 cm unter die rechte oder linke Axilla und legen das Gurtende mit den Verschlusslöchern **2** über den Brustkorb bis zur gegenüberliegenden Seite. Der Gurt sollte passen, wenn sich die Verschlusslöcher, vorzugsweise die mittleren, unterhalb der gegenüberliegenden Axilla befinden. Andernfalls wählen Sie den nächstkleineren oder nächstgrößeren Gurt.



Bitte beachten Sie bei der Auswahl: Ein sehr strammer Sitz ist nicht erforderlich, ein loser Gürtel könnte jedoch zu Kontaktproblemen führen.

1 Mittenmarkierung

2 Verschlusslöcher



Anlegen eines EIT-Gurts zur Abschätzung der richtigen Größe. Dieser Gurt weist die richtige Größe auf.

D-11922-2017



EIT-Gurt etwas zu kurz

D-11925-2017

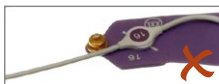


EIT-Gurt etwas zu lang

1.2.2. Patientenkabel mit dem Elektrodengurt verbinden

Nehmen Sie den Elektrodengurt und das passende Patientenkabel in die Hand oder legen Sie den Elektrodengürtel auf eine flache Oberfläche und verbinden Sie ab Elektrode #1 das Patientenkabel mit den Elektroden des Elektrodengürtels entsprechend der Nummerierung in wellenförmiger Anordnung. Achten Sie dabei auf die richtige Orientierung des Patientenkabels. An den Elektroden 1 und 16 befinden sich hierzu Markierungslinien, die als Orientierungshilfe dienen. Bringen Sie dementsprechend das Patientenkabel mit den Markierungen in Deckung, siehe folgende Abbildung.

Orientierung des Elektrodenkabels am EIT-Gurt



›falsch‹

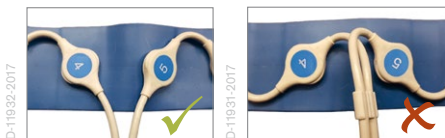


›richtig‹



Bei ›normaler‹ Anwendung zeigen die Stecker nach kaudal, die Zahlen auf Gurt und Kabel sollten übereinstimmen. Bei Verlegung der Stecker nach kranial (PulmoVista® 500 befindet sich z. B. am Kopfende) ist auf ein knickfreies Verlegen der Kabel zu achten. In diesem Ausnahmefall lassen sich, Steckerkabel sicherer verlegen, wenn die Kabelorientierung in verdrehter, ›falscher‹ Richtung erfolgt.

Bitte vermeiden Sie bei der Verlegung des Elektrodenkabels, insbesondere an den Übergangsstellen zwischen Elektrode 4/5 und 12/13 (Stecker links/ rechts), zu enge Biegeradien.



Nach korrekter Verbindung sollte der EIT-Gürtel wie folgt aussehen.
Zur leichteren Orientierung des Gürtels am Körper hilft die Eselsbrücke:

Löcher = **L**inks

Referenzelektrode = **R**echts



1.2.3. Vorbereitung des Patienten vor dem Anlegen des Gürtels

Vor dem Anlegen des EIT-Gürtels ist dessen Positionierbarkeit zu prüfen, ggf. vorzubereiten. So können z.B. Wundverbände, Drainagen, EKG-Elektroden, Katheter, starker Haarwuchs oder operations- und krankheitsbedingte Problemzonen die Platzierung des Gürtels bzw. der Elektroden beeinträchtigen. Die Kontaktstellen sind nach Möglichkeit zur Verbesserung des Hautkontaktes freizulegen. Die Flexibilität des Gürtels ermöglicht zusätzlich einen gewissen Spielraum in der Platzierbarkeit der Elektroden. Sollte dennoch eine Elektrode ungünstig liegen oder der Hautkontakt nicht ausreichen, kann die EIT-Messung auch im sogenannten 15-Elektroden-Modus gestartet werden. Nähere Hinweise hierzu finden Sie im Kapitel »Prüfung der Signalqualität«.

1.2.4. Vorbereitung des EIT-Gürtels

Damit der EIT-Gürtel möglichst schnell einsatzbereit ist, bietet es sich an, insbesondere bei trockener Haut, die Kontaktelektroden mit etwas Flüssigkeit (z.B. steriler Kochsalzlösung oder Wasser) zu benetzen. Es kann hierfür auch Elektrodengel verwendet werden.

1.2.5. Ausrichtung des EIT-Gürtels am Oberkörper

Zur Orientierung und erleichterten Ausrichtung ist eine spürbare Silikonmarkierung am Elektrodengürtel vorhanden. Diese befindet sich zwischen der 8. und 9. Elektrode und wird zwischen dem 4. und 6. ICR an die Wirbelsäule angelegt.



D-2284-2010

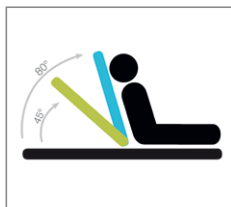
Markierung

1.2.6. Allgemeine Vorgehensweise beim Anlegen des EIT-Gürtels:

Legen Sie den Gürtel beim liegenden Patienten an, indem Sie

- den Oberkörper leicht anheben oder
- den Patienten auf die Seite drehen.

Beim sitzenden Patienten ist darauf zu achten, dass die mittleren Elektroden im Rückenbereich leicht gegen eine Anlage gelehnt werden (z.B. Stuhllehne).



D-11942-2017

45° bis 80°



Falls der Patientenzustand es zulässt, bietet es sich auch an, das Bett in eine angewinkelte Position zu bringen. Damit wird das Anlegen des Gürtels erleichtert. Die EIT-Messung kann unabhängig von der Lage im Sitzen oder Liegen, in Bauch-, Seiten- oder Rückenlage durchgeführt werden.

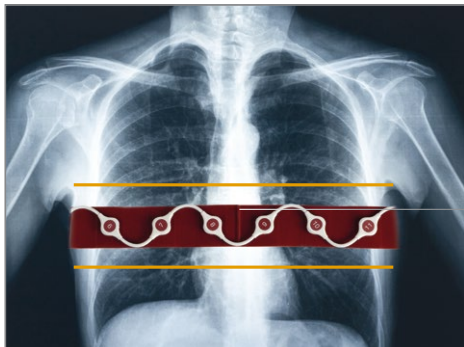
Ist ein Schrägstellen des Patientenbetts oder eine aufrechte Patientenlage nicht möglich, bieten sich die folgenden Methoden zum Anlegen des EIT-Gürtels an:

Hebemethode

1. Heben Sie den Kopf des Patienten leicht an und legen Sie den Gürtel in den Nackenbereich.
2. Stellen Sie nun den Oberkörper etwas aufrecht und schieben Sie den Gürtel nach kaudal zwischen den 4. und 6. ICR (idealerweise 5. ICR), die Gurtmarkierung sollte sich dabei im Bereich der Wirbelsäule befinden.
3. Justieren Sie die Gürtellage und vergewissern Sie sich, dass die Mittenmarkierung an der Wirbelsäule anliegt.
4. Verschließen Sie den Gürtel (siehe Seite 14).



Sollte der Zugang von der Kopfseite eingeschränkt sein, heben Sie den Oberkörper und legen Sie den EIT-Gürtel von der Seite her an.



Markierung

Rollmethode

1. Drehen Sie den Patienten auf eine Seite, legen Sie eine Gurthälfte entlang des Brustkorbs (Elektrode auf der linken Patientenseite) und halten Sie die Mittenmarkierung an die Wirbelsäule im Bereich des 4. bis 6. ICR.



Wirbelsäulenmarkierung

2. Drehen Sie den Patienten auf die andere Seite, halten Sie dabei die Markierung fest, schieben Sie vorsichtig das freie Gürtelende unter dem Patienten durch und legen Sie es am Brustkorb ab.
3. Prüfen Sie den Sitz der Mittenmarkierung und die Ausrichtung des Gürtels und drehen Sie den Patienten in die Ausgangslage zurück.



Hinweis zur Gürtelausrichtung: Die Elektrode 1 befindet sich auf der linken Patientenseite (Gurtende mit Verschlusslöchern), die beiden Anschlussstecker vom Patientenkabel zeigen jeweils rechtsseitig und linksseitig vom Patienten nach kaudal.

Verschließen des Gürtels:

1. Die Gürtelenden werden im Bereich des Sternum zusammengeführt und über eine der 6 Verschlusspositionen miteinander verbunden. Nach Möglichkeit verwenden Sie eines der mittleren Verschlusslöcher.



Elektrodenanordnung:

Die Elektroden 1 und 16 nach Möglichkeit symmetrisch zum Brustbein (siehe Bild) anlegen. Die Elektroden 8 und 9 nach Möglichkeit symmetrisch zur Wirbelsäule anlegen.



Der Gürtel muss jedoch nicht stramm sitzen, entscheidend ist ein ausreichender Kontakt zwischen den Elektroden und der Haut. Die Elektroden 1 und 16 sollten nach Möglichkeit symmetrisch am Sternum anliegen. Ein Versatz der Elektroden bzw. ein asymmetrisch angeordneter Gürtel kann zu einer Bildrotation führen.



Bei Frauen wird empfohlen, den Gürtel auf die Brust (Mammæ) zu legen und zu schließen. Dabei ist auf ausreichenden Hautkontakt der Elektroden zu achten, ggf. ist der Gürtel geringfügig zu verschieben.

2. Stecken Sie nun den Verschlussclip C auf den Verschlussknopf (Sternum).
3. Bringen Sie eine EKG-Elektrode auf dem Abdomen an und verbinden Sie diese mit dem Referenzelektrodenclip.



4. Verbinden Sie das Stammkabel mit dem Patientengürtel (achten Sie auf die Farbcodierung und Beschriftung).



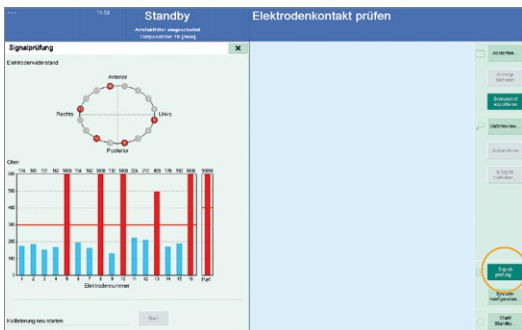
Farbcodierte Stecker und Buchse mit Rechts/Links-Beschriftung



Verlegen Sie Kabel und Anschlüsse ohne Zug auf den Gürtel und das Stammkabel, sodass keine Stolperfalle entsteht. Prüfen Sie noch einmal den sicheren Sitz der roten und grünen Steckverbindung.

1.3. PRÜFUNG DER SIGNALQUALITÄT

1. Wählen Sie im Start/Stand-by-Menü ›Neuer Patient‹.
2. Drücken Sie als nächstes auf die Funktion ›Signalprüfung‹.
Die Grafik zeigt Ihnen die Hautwiderstände an den 16 Elektroden und der Referenzelektrode.



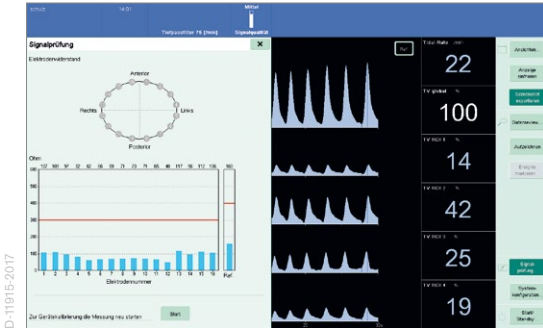
Die Signalprüfungsfunktion. Die Elektroden weisen unterschiedlich hohe Elektroden-Hautwiderstände auf.

Ist ausreichend Signal bzw. Hautkontakt gegeben, erscheint im Diagramm ein blauer Balken bei allen Elektroden (auch Referenzelektrode) unterhalb der 300-Ohm-Linie (waagerechte roter Linie). Falls der Hautkontakt noch zu hoch ist ($> 300 \Omega$), wird zum erleichterten Auffinden die unzureichende Elektrode im Elektrodenbild rot markiert. Im Diagramm zeigt ein roter Signalbalken zusätzlich den vorhandenen Widerstandswert an.

Prüfen Sie den Sitz der Elektroden und Steckkontakte, feuchten sie ggf. die betreffenden Elektroden ein wenig mit Wasser oder EKG-Gel an.

Sollte die Referenzelektrode einen zu hohen Widerstand aufweisen, versuchen Sie eine andere Elektrode (EKG) oder bringen Sie eine leitfähige Substanz auf.

Sind die Elektrodenwiderstände, wie im folgenden Bild gezeigt (blaue Balken), unterhalb der roten Linie, kann mit der Messung begonnen werden.



D-11915-2017

Alle Elektroden sind betriebsbereit (blaue Balken).

1.4. EINSTELLUNGEN VOR DEM START DER EIT-MESSUNG

Bevor Sie die EIT-Session starten, empfiehlt es sich, folgende Voreinstellungen vorzunehmen:

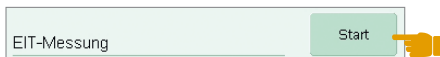
1. Neuen Patienten wählen.
2. Patientendaten eingeben.
3. Bildrate und Filter einstellen.
4. Aufzeichnungsmodus wählen.
5. Artefaktfilter einschalten.
6. Kontur der ventilierten Region einschalten.
7. Zur Kopplung mit einem Dräger-Intensivventilator ist die Schnittstelle zu konfigurieren.

Genauere Angaben hierzu finden Sie in diesem Handbuch sowie in der Gebrauchsanleitung zum Gerät.

1.5. EIT-SESSION STARTEN

Drücken Sie die Starttaste. Danach führt das System eine kurze Kalibrierung durch (ca. 30 s) und ist dann bereit für die Messung.

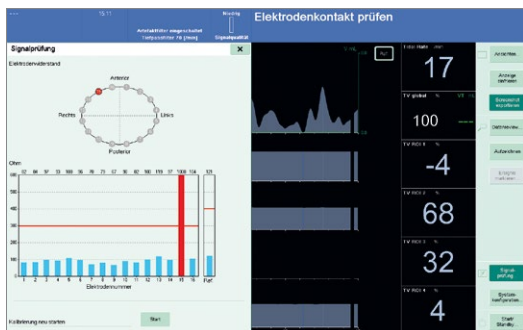
D-11956-2017



1.6. SONDERFALL: 15-ELEKTRODEN-MODUS

Für den speziellen Fall, dass bei einer Elektrode nicht genügend Hautkontakt vorliegt, kann die Messung dennoch zuverlässig durchgeführt werden. Das Gerät verwendet dazu einen speziellen Modus.

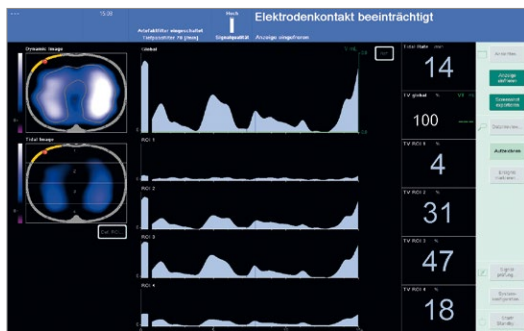
D-11959-2017



Bei Ausfall einer Elektrode erscheint die Meldung ›Elektrodenkontakt prüfen‹, die Messung kann dennoch problemlos durchgeführt werden

Im sogenannten 15-Elektroden-Modus wird die inaktive Messstelle in der virtuellen Thoraxkontur farblich markiert. Sollte eine Elektrode nach dem Start der Messung ausfallen, ist eine Neukalibrierung erforderlich. Danach wird die Meldung ›Elektrodenkontakt beeinträchtigt‹ angezeigt, was aber keine nennenswerte Einschränkung in der Messung bedeutet.

D-11941-2017



Messung im 15-Elektroden-Modus

1.7. PRÜFUNG DER RICHTIGEN GÜRTELPOSITION

Die folgende Vorgehensweise hilft Ihnen, die gewählte Gürtelposition nachzuprüfen bzw. die richtige Position zu finden.

Prinzipiell ist der Gürtel zwischen dem 4. und 6. ICR anzulegen. Bei weiblichen Personen ist der Gürtel auf die Brust zu legen

Fall a:

Falls der Gürtel zu weit nach kaudal gelegt wird, können Bewegungen des Zwerchfells in der Elektroden Ebene die Bildgebung beeinflussen.

- ➔ **Effekt:** Es werden negative Impedanzänderungen (siehe Seite 33) im Tidal Image lateral sichtbar. Dies ist ein Indikator dafür, dass der Gürtel zu tief liegt.

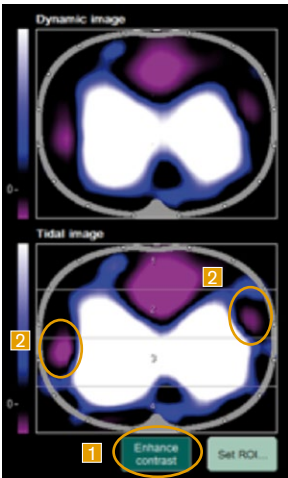
Fall b:

Ist der Gürtel zu weit nach kranial gelegt, können die ventilerten Lungenregionen kleiner erscheinen.

→ **Effekt:** Zwischen der linken und rechten Lunge kann aufgrund der niedrigen räumlichen Auflösung nicht mehr eindeutig unterschieden werden, insbesondere wenn das Mediastinum nicht mehr im apikalen Bereich der Lunge lokalisiert werden kann.

Schritte zur Erkennung einer zu tiefen Gürtellage:

1. Gehen Sie zum Hauptbildschirm.
2. Drücken Sie den "Kontrast erhöhen" Button.
3. Wenn sie, links und rechts der Lungenregionen (blau und weiß), Lila gefärbte Regionen sehen (negative Impedanzveränderungen), ist es sehr wahrscheinlich, dass der Gurt zu tief platziert wurde.
4. Platzieren sie den Gurt mehr kranial.
5. Überprüfen sie, ob die Lila Regionen verschwunden sind.



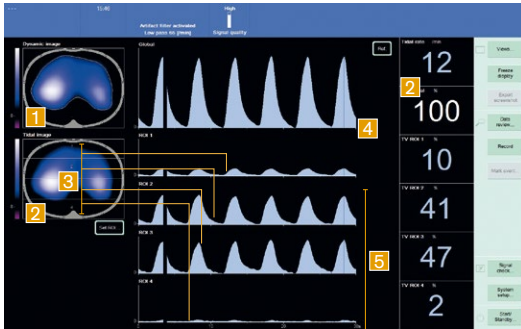
- 1 Kontrast erhöhen
- 2 Negative Impedanzveränderungen

2. Bildschirmansichten und ihre speziellen Eigenschaften

Zur Darstellung und Auswertung der EIT-Bilder und Bildinformationen stehen unterschiedliche Ansichten zur Verfügung.

- Standardansicht
- Vollbild
- End-inspiratorischer Trend
- End-expiratorischer Trend ($\Delta EELI$)
- Diagnostik Ansicht

Nach dem Start der Messung befinden Sie sich in der Standardansicht. Diese liefert einen Überblick über die Verteilung des Atemzug- oder Tidalvolumens im transversalen Schnittbild. Im dynamischen Bild wird die Volumenverteilung in- und expiratorisch in Echtzeit mit bis zu 50 Bildern/s dargestellt, Inhomogenitäten der Lunge lassen sich damit schnell identifizieren. Das Tidalbild hält die Volumenverteilung des letzten Atemzugs fest. Zur Beurteilung der regionalen Ventilation mit Atemzugvolumina (beispielsweise während Spontanatmung) können Sie dieses zum Minute Image (Setup) ändern. Echtzeit Impedanzkurven stellen die Atmung im zeitlichen Verlauf dar. Änderungen im gesamten Querschnitt werden durch die globale Impedanzkurve wiedergegeben. Diese korreliert mit der Volumenkurve des Beatmungsgeräts bzw. mit dem applizierten oder eingeatmeten Gesamtvolumen. Die regionalen Impedanzänderungen dienen dem Vergleich unterschiedlicher Lungenregionen. Die numerischen Werte geben die Volumenverteilung an, in Summe ergeben diese 100% des globalen Werts, sofern die Gesamtfenstergröße (ROI-Einstellung) nicht verändert wird.



Standardansicht mit dynamischer Bilddarstellung (Hauptansicht)

- 1 Dynamisches Bild
- 2 Tidalbild / Minute Image
- 3 Regions of Interest
- 4 Globale Impedanzkurve
- 5 Regionale Impedanzkurven



Erläuterungen zur Bildcodierung:

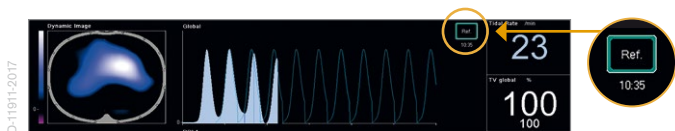
Impedanzänderungen als Folge des ventilerten Volumens werden pro Bildpixel in eine Farbskala übersetzt.

Regionen mit Impedanzänderungen $\leq 10\%$ der maximalen Änderung bleiben schwarz.

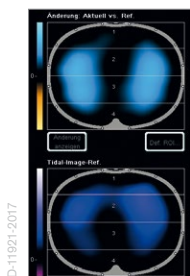
Regionen mit Impedanzänderungen $> 10\%$ der maximalen Änderung erscheinen dunkelblau bis weiß (entspricht der maximalen Änderung).

2.1. REFERENZIERUNG

Wenn Sie vor einer Beatmungsänderung oder therapeutischen Maßnahme den aktuellen Zustand zwecks Vergleichbarkeit festhalten wollen, bietet sich die Referenzfunktion an. Diese wird in der Standardansicht durch die Option »Ref.«, oberhalb rechts der globalen Impedanzkurve, aktiviert.

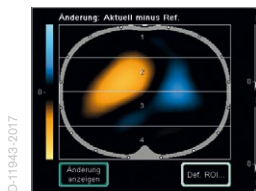


Nach Aktivierung erscheint anstelle des Tidalbilds ein neues Fenster, das Differenzbild. Zum Zeitpunkt der Referenzierung wird das Tidalbild gespeichert und unter das Differenzbild geschoben. Darauf folgende Änderungen werden jedoch erst nach Aktivierung des Fensters »Änderung anzeigen« sichtbar. Im Differenzbild wird der aktuelle Status mit dem Referenzstatus verglichen und angezeigt. Änderungen der regionalen Ventilation im positiven oder negativen Sinne werden dabei schnell und intuitiv vermittelt. Diese werden durch eine weitere Farbcodierung hervorgehoben.



Differenzbild und Referenzbild, Zunahme der regionalen Ventilation insbesondere in Region 2 und 3.

Orange = - Ventilationsverlust
Blaue = + Ventilationszuwachs



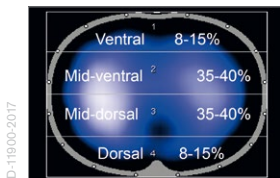
Differenzbild mit pos. und neg. Änderungen.

2.2. REGIONS OF INTEREST (ROI)

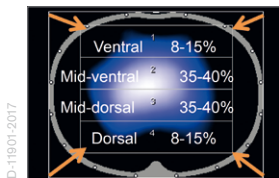
Mit der Einstellung ›Regions of Interest‹ haben Sie die Möglichkeit, Fenster in Anordnung und Größe an die aktuellen Ventilationsverhältnisse anzupassen. Sie finden die ROI-Option rechts unterhalb des Tidal- bzw. Differenzbilds. Je nach Art der Untersuchung lassen sich ROIs als Zeilen, Quadranten und freie Rechtecke hinsichtlich ihrer Größe und Form definieren. Die folgende Tabelle zeigt hierzu typische Beispiele:

ROI-Typ	Zeilen	Quadranten	Frei wählbar
Untersuchung	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilung der Ventilation von ventral nach dorsal • Schwerkrafteinflüsse 	<ul style="list-style-type: none"> • Lungenpathologien • Linke versus rechte Lunge 	<ul style="list-style-type: none"> • Herzuntersuchung • Lokale, nicht zusammenhängende Regionen • Einzelphänomene
Beispiel	<ul style="list-style-type: none"> • Dorsaler Kollaps • Ventrale Überdehnung • Lagerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Pleuraerguss • Pneumothorax • Absaugung 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse von herzabhängigen Signalen • Erkennung von Fluiden • Signalverzögerungen

Im Vergleich zur normal gesunden Lunge ist eine Anpassung der Fenstergröße z.B. bei adipösen Patienten mit eingeschränkter Lungenausdehnung zu empfehlen.

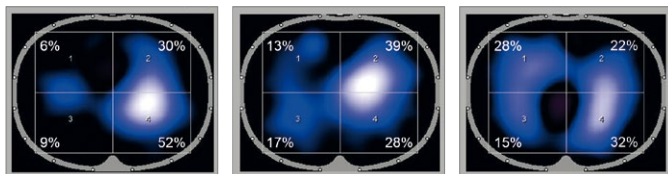


Patient mit Normalgewicht
Fenstergröße unverändert,
Verteilung der Ventilation in %



Adipöser Patient
Fenstergröße an das komprimierte Lungenvolumen anpassen. Die Summe der 4 regionalen Tidalen Variationen (TV) sollte 100% betragen.

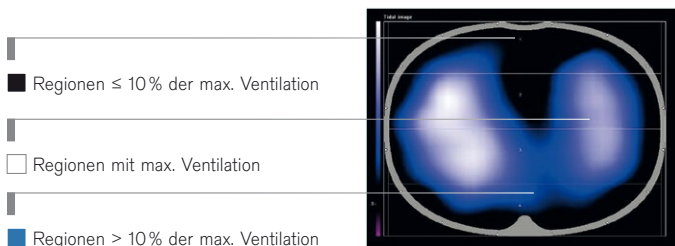
Für rechts- und linksseitige Untersuchungen bieten sich ROI-Quadranten an. Als ein Beispiel hierzu zeigt die nachstehende Bildfolge die Rekrutierung der rechten Lunge und den prozentualen Volumenzuwachs über die Zeit.



Vor Recruitment-Manöver (RM) 10 Minuten nach RM

4 Stunden nach RM

Bei der Vollbildansicht werden die regionalen Impedanzkurven ausgeblendet und das dynamische EIT-Bild wird vergrößert dargestellt. Diese Ansicht dient der verbesserten Demonstration und Darstellung der ventilierten Regionen.



Verteilung des Tidalvolumens in cross-sektionaler Vollbildansicht des Patiententhorax in kaudal-kränialer Richtung

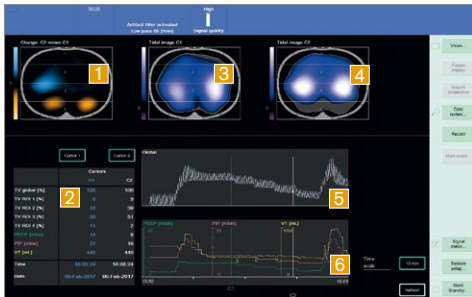


Beim Betrachten von EIT-Bildern ist zu beachten, dass diese sinngemäß wie CT-Aufnahmen von kaudal zu sehen sind. Wir schauen demnach »durch die Füße« in die Lunge.

2.3. TRENDANSICHTEN –

END-INSPIRATORISCH UND END-EXPIRATORISCH

Mit den Trendansichten des PulmoVista® 500 lassen sich EIT-Informationen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten vergleichen. Der end-inspiratorische Trend ermöglicht den direkten Vergleich zweier Tidalbilder in Bezug auf die regionale Ventilation. Dadurch lassen sich Änderungen in der regionalen Belüftung identifizieren, die sich z.B. durch Rekrutierung, Derekrutierung, Überdehnung von Lungenarealen oder Umverteilung von V_t ergeben. In einer Tabelle werden die regionalen Ventilationsverteilungen in % mit zugehörigen Parametern vom Beatmungsgerät dargestellt.



- 1 Differenzbild
- 2 Trend Table
- 3 Tidalbild Cursor 1
- 4 Tidalbild Cursor 2
- 5 Globale Impedanzkurve
- 6 Trend-Parameter vom Ventilator



Um einen Vergleich durchzuführen, setzen Sie Cursor 1 als Referenzpunkt fest und bewegen Sie Cursor 2 an die zu vergleichende Stelle. Sie können die Änderungen sofort im Differenzbild erkennen.

Orange → Abnahme der regionalen Ventilation

Hellblau → Zunahme der regionalen Ventilation

Mit dem end-expiratorischen Trend oder der **ΔEELI-Trendansicht** werden Änderungen der end-expiratorischen Lungenimpedanz im zeitlichen Verlauf dargestellt. Die hier gemessenen Werte korrelieren gleichermaßen mit den Änderungen des end-expiratorischen Lungenvolumens (EELV).

Ein wesentlicher Unterschied zu den anderen Darstellungen ist die Referenzierung der Bilder gegen eine feste Baseline, womit quantitative Auswertungen zwischen verschiedenen Zeitpunkten möglich sind. Das Bild mit dem niedrigsten Wert in der globalen Impedanzkurve definiert dabei die Baseline.

Der Δ EELI-Trend eignet sich zur Bewertung von end-expiratorischen Veränderungen, z.B. nach Veränderung des PEEP, von Rekrutierungsprozessen zur Wiedereröffnung dorsaler Atelektasen sowie zur Erkennung von Derekrutierungsvorgängen einzelner Lungenareale.



D-11904-2017



Im Δ EELI-Trend lassen sich zwei Cursor, C1 und C2, entlang der Zeitachse positionieren. Veränderungen werden im Δ EELI-Differenzbild ersichtlich. Auch hier gilt: Areale in Orange signalisieren eine regionale Abnahme (z.B. durch Derekrutierung), Areale in Hellblau eine regionale Zunahme des EELV (z.B. durch Rekrutierung).

Im obigen Beispiel bedeutet ein Δ EELI-Wert von $-1.00 \times TV_{\text{global}} C1$, eine Abnahme der end-expiratorischen Lungenimpedanz bzw. des EELV um die Höhe der globalen Tidalvariation an der Stelle C1, also um $1.00 \times V_{\text{t}}$ an der Stelle C1 (in diesem Beispiel wären dies 1.00×424 ml). Regionale Veränderungen zeigen hierzu die Impedanzkurven und die numerischen Werte.

2.4. DIAGNOSTIC VIEW

2.4.1. Dialog Fenster Analyse durchführen

Die Diagnostik Ansicht erlaubt die Analyse der regionalen Compliance Veränderungen und der Delays in den Regionen zusätzlich zu der Evaluation der Ventilationsverteilung. Jede gewählte Zeitperiode wird „Sektion“ genannt.

Das „Analyse durchführen“ Fenster wird ihnen als erstes angezeigt und dient dazu die Annalyse ihrer durchgeführten Therapie vorzubereiten. Die „PEEP Trial Analyse“ Funktion gibt ihnen die Möglichkeit einer automatischen Analyse eines incremental oder decremental PEEP Trial Manövers. Im Gegensatz dazu ermöglicht ihnen die „Individuelle Analyse“ Funktion die Beurteilung jedweder anderer Beatmungsrelevanten Maßnahme.



- 1 Globale Impedanz Kurvenform. Wenn Trend Parameter des Ventilators verfügbar sind, werden diese angezeigt: PEEP in Grün und EIP in Pink.
- 2 Abschnitte mit alphabetisch geordneten (Bezeichnungen) Kennzeichnungen (inklusive des jeweiligen PEEP wenn verfügbar).
- 3 Automatische Erkennung und Auswahl der Sektionen.
- 4 Manuelle Auswahl der Sektionen (Hinzufügen oder Entfernen von Sektionen und Positionen über den Touchscreen oder den Drehknopf).
- 5 Definieren der Sektionslänge (1-10 Atemzüge).
- 6 Für die individuelle Analyse muss eine Referenzsektion gewählt werden. Die darauffolgende Analyse bewertet/bestimmt die Veränderungen der folgenden Sektionen im Vergleich zu dieser.
- 7 Regional Ventilation Delay (RVD) Einstellungen: Der RVD ist ein Parameter, der die regionale Verzögerung der Inspiration im Vergleich zur globalen Inspiration Anzeigt und kann sowohl zyklisches öffnen und schließen als auch die regional unterschiedlichen Zeitkonstanten verschiedener Lungenareale anzeigen.
- 8 Analyse Starten.



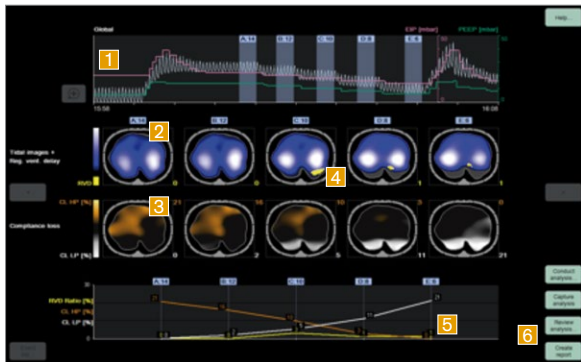
Sektions (Bereichs) Einstellungen: Bitte stellen sie sicher, das sein Bereich(Sektion) sich nicht über mehrere PEEP Level oder Interventionen erstreckt. Ein Bereich (Sektion) zeigt immer den durchschnittlichen Wert der ausgewählten Atemzüge.

2.4.2. Ergebnisse der Analyse

Die Ergebnisse der PEEP Trials Analyse unterstützen die Auswahl und individuelle Einstellung des PEEP. Regionale compliance Bilder zeigen den Einfluss des eingestellten PEEP auf die Lungenmechanik. Die „Individuelle Analyse“ kann zur Evaluierung verschiedenster therapeutischer Interventionen angewendet werden.



Ein Zunahme oder Abnahme der Ventilation bei konstantem Driving Pressure kann als Zunahme/Abnahme der regionalen Compliance (C) interpretiert werden

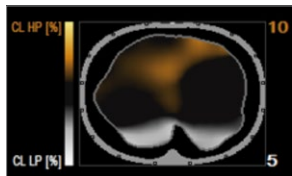


- 1 Global Impedanz Kurvenformen und Sektionen (Abschnitte). Wenn Trendparameter verfügbar sind, werden diese Anzeigbar: PEEP in Grün und EIP oder PIP in Pink.
- 2 Tidal Bild für jede angezeigte Sektion.
- 3 Compliance Verlust Anzeige (Bild) für jeden angezeigten Abschnitt(Sektion)
- 4 Areale in denen eine regionale Ventilations Verzögerung und dazugehörige RVD Parameter erkannt werden, werden in Gelb angezeigt.
- 5 Diagramm mit den numerischen Werten aller Bereiche (Sektionen) abhängig von den jeweiligen Einstellungen und des Analyse Typs.
- 6 Report Erstellen: Ein Bild und ein Textfeld werden erstellt, welches die eingestellten Parameter, die Eventliste, alle verfügbaren Parameter, die MEDIBUS Werte sowie einen Screenshot der Analyse (nur aktiv, wenn ein USB Stick angeschlossen ist) enthält. Dieser Report dient zu Dokumentationszwecken.



Der RVD Parameter kann in zwei unterschiedlichen Konfigurationen angezeigt werden: als eine Standardabweichung des RVD (RVD SD) für jede Sektion(Bereich) oder als RVD Ratio. RVD SD, angezeigt als % des T_i beschreibt wie homogen die regionale Inspiration innerhalb der Kontur der ventilerten Fläche ist. RVD Ratio, angezeigt als % als totale Anzahl der Pixel, beschreibt das Verhältnis der Pixel der RVD zur Anzahl der Pixel innerhalb der Kontur der ventilerten Fläche.

D-30763-2017



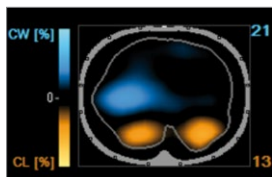
Differenzbild - PEEP Trial Analyse

Dunkel Grau: Pixel mit höchster Compliance

Orange: Abnahme der Compliance zu höheren PEEP Level – typischer Weise tritt dies in den ventralen Regionen bei hohen PEEP Level auf und kann als Überdehnung interpretiert werden. Der Parameter CL HP 10 bedeutet, dass dort eine erhöhte Abnahme von 10% in diesen Regionen zu beobachten ist, während eine höhere Compliance bei niedrigeren PEEP Niveaus zu finden ist.

Weiß: Abnahme der Compliance hin zu niedrigeren PEEP Level – dies tritt typischer Weise in den dorsalen Regionen bei niedrigen PEEP Level auf und kann als Kollaps oder Derecruitment interpretiert werden. Der Parameter CL LP von 5 bedeutet, dass im Bild ein erhöhter Verlust von 5% in dieser Region zu beobachten ist, während die höhere Compliance bei höherem PEEP Level zu finden ist.

D-30764-2017



Differenzbild – Individuelle Analyse

Compliance Loss (CL) /

Compliance Win (CW)

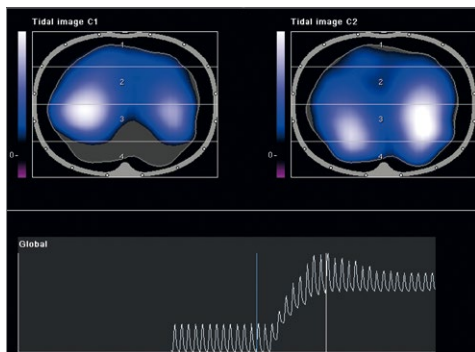
Dunkel Grau: Pixel ohne Veränderung gegenüber der Referenz

Orange: CL – Abnahme der Compliance gegenüber der Referenz
CL = 13 bedeutet, diese Bild zeigt, dass eine erhöhte Abnahme von 13% in dieser (Orangen) Region stattfindet.

Türkis: CW – Anstieg der Compliance gegenüber der Referenz
CW = 21 bedeutet, eine Erhöhung der Compliance von 5% in dieser (Türkisen) Region

2.5. KONTUR DES VENTILIERTEN BEREICHS

Mit Hilfe der »Kontur des ventilierten Bereichs« bietet sich die Möglichkeit, die ventilierten Lungenregionen im EIT-Bild sinnbildlich in Form eines Abdruckes festzuhalten. Die Kontur ermöglicht die Abgrenzung der ventilierten Regionen pro Atemzug und die Identifikation von Lungenregionen mit z.B. eingeschränkter Ventilation oder verzögerten inspiratorischen Vorgängen. Die Kontur der ventilierten Zone befindet sich im Menü »Anzeige«, sie wird im dynamischen Bild (Standardansicht, Vollbild) sowie im end-inspiratorischen Trend dargestellt. Im end-inspiratorischen Trend markiert diese Kontur die maximal ventilierten Lungenregionen im gewählten Beobachtungszeitraum (1min – 120min). Je nach Cursorposition (C1, C2) werden nicht ventilerte Areale in Relation dazu als graue Flächen gekennzeichnet.



D-11905-2017



Graue Felder kennzeichnen hierbei die Lungenregionen, die zum Zeitpunkt C1 oder C2 nicht ventiliert sind, aber zu einem anderen Zeitpunkt innerhalb des gewählten Beobachtungszeitraums ventiliert wurden. Im obigen Bild kennzeichnet die graue Fläche zum Zeitpunkt C1 das rekrutierte Lungenareal zum Zeitpunkt C2.

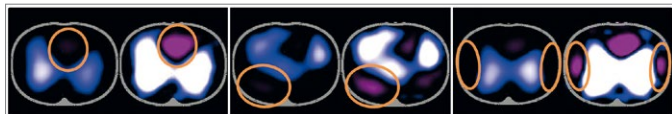
2.6. NEGATIVE IMPEDANZÄNDERUNGEN (BILDARTEFAKTE)

Negative Impedanzänderungen erscheinen in den EIT-Bildern als violette Areale. Sie repräsentieren invertierte Kurvenerscheinungen und können unter bestimmten physiologischen Bedingungen auftreten, wie:

- Herzaktivität
- Flüssigkeitsansammlungen wie Pleuraerguss
- Diaphragmabewegungen
- Artefakte (z.B. Körperbewegungen, Gürtelrepositionierung, starke elektromagnetische Felder)
- Tiefere Expiration als Inspiration
- Pendelluft

Bereiche mit negativen Impedanzerscheinungen

D-11906-2017



Herz/Mediastinum

Pleuraerguss

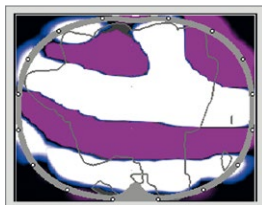
Zwerchfellbewegung

Im Gegensatz zu den oben genannten Phänomenen können z.B. elektromagnetische Einstrahlungen Bildstörungen (Artefakte) hervorrufen, die eine qualitative Auswertung von EIT-Bildern erschweren oder sogar unmöglich machen. Artefakte können am Ende der Expiration die Baseline in der Art negativ beeinflussen, dass eine Interpretation der Tidalbilder nicht mehr sinnvoll erscheint.

Spezielle Filtertechniken des PulmoVista® 500 ermöglichen die Eliminierung von Bildartefakten, wodurch EIT-Bilder wieder interpretierbar werden. Die Einstellung hierzu findet sich im Menüpunkt »Anzeige«.



Empfehlung: Lassen Sie den Artefaktfilter eingeschaltet.



Ohne Artefaktfilter
Tiefpassfilter >50< ein



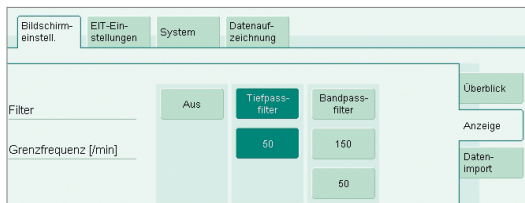
Mit Artefaktfilter
Tiefpassfilter >50< ein

2.7. FILTERUNG

PulmoVista® 500 verarbeitet standardmäßig ungefilterte Rohdaten und stellt diese auch entsprechend dar. Da mit diesem Verfahren bereits sehr geringe Änderungen wahrgenommen werden, sind entsprechend auch zeitgleich überlagerte Effekte darstellbar. So werden z. B. lungenfunktionsbedingte wie auch herz- oder perfusionsabhängige Impedanzänderungen gezeigt. Ein funktionales Lungen-EIT lässt sich unter Umständen besser deuten, wenn überlagernde Effekte, wie z. B. durch die Herzfunktion verursachte Impedanzsignale, weggefiltert werden. Hierzu verfügt das Gerät über Filteroptionen wie Tiefpass- und Bandpassfilter, mit denen eine gezielte Unterdrückung von Impedanzsignalen möglich ist. Diese Option ist im Menü unter ›Anzeige‹ einstellbar.

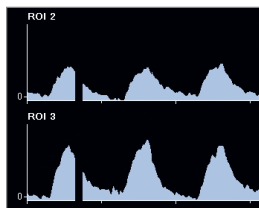
- Tiefpassfilter:** Anzeige von Impedanzänderungen unterhalb einer bestimmten Frequenz
Beispiel: Nur atmungsbedingte Signale sind von Interesse, d. h. oberhalb der Atemfrequenz, aber unterhalb der Herzfrequenz, z. B. HF - 20
- Bandpassfilter:** Anzeige von Impedanzänderungen innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs
Beispiel: Nur herzbedingte Impedanzsignale sind von Interesse, z. B. HF ± 20

D-11929-2017



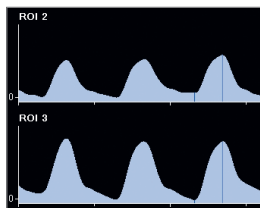
Filtermenü

D-11962-2017



Ungefilterter EIT-Signalverlauf

D-11930-2017



Gefilterter EIT-Signalverlauf
Tiefpassfilter HF -20



Bitte beachten Sie, dass es bei Tiefpass- und Bandpassfilterung zu einer Phasenverschiebung und somit zu einer verzögerten Anzeige von Impedanzkurven kommen kann.

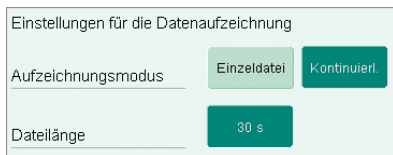
Bei der Bandpassfilterung wird keine Tidal Rate angezeigt.

Referenzdaten werden durch Filterung nicht beeinflusst. Filter- und Grenzfrequenzeinstellungen wirken sich nur auf die Anzeige von Daten aus, nicht auf die Datenaufzeichnung.

2.8. BILD SPEICHERN UND AUFNEHMEN

Mit PulmoVista® 500 können Sie Bildschirmfotos erstellen und Bildsequenzen (EIT-Daten) aufzeichnen. Zum Erstellen von Bildschirmfotos ist ein USB-Stick in eine der seitlichen USB-Buchsen im Monitor C500 zu stecken. Nach Drücken der Taste ›Screenshot übertragen‹ wird die aktuelle Ansicht direkt auf diesen übertragen. Vor dem Screenshot können Sie das zu übertragende Bild mit Hilfe der Funktion ›Anzeige einfrieren‹ überprüfen. Eine Aufzeichnung von EIT-Dateien (Option ADAP erforderlich) ist dabei mit folgenden Optionen möglich:

- Einzeldatei:** Es wird eine Datei über die Zeitdauer ›Dateilänge‹ aufgezeichnet.
- Kontinuierlich:** Es werden multiple Dateien der Zeitdauer ›Dateilänge‹ kontinuierlich aufgezeichnet bis die Aufzeichnung abgebrochen wird. Im folgenden Beispiel sind kontinuierliche Aufzeichnungen mit Dateilängen von 30 s gewählt.



D-11019-2017

Die Aufzeichnungslänge beträgt zwischen 30 s und 10 min. Zum Aufzeichnen drücken Sie die Taste ›Aufzeichnen‹. Sie können die Aufzeichnung jederzeit durch erneutes Drücken dieser Taste abbrechen. Die aufgezeichneten Dateien sind mit Hilfe der Funktion ›Datenreview‹ abrufbar. Über das Menü ›Datenaufzeichnung/Dateiverwaltung‹ lassen sich die Daten wieder löschen oder auf einen USB-Stick übertragen. Im Menü ›Dateiverwaltung‹ wird der freie Festplattenspeicherplatz sowie der vorhandene USB-Speicherplatz angegeben.

2.9. KOPPLUNG EINES DRÄGER BEATMUNGSGERÄTS MIT PULMOVISTA® 500

PulmoVista® 500 ermöglicht synchron zur EIT-Bildinformation auch den Import und die Anzeige von Beatmungsmesswerten, Kurven und Trendverläufen. Der Datenimport erfolgt über die Medibus/Medibus.X-Schnittstelle. Die notwendigen Einstellungen hierzu finden sich im Menü unter ›Bildschirmeinstellungen/ Datenimport‹. Für die Übertragung sind folgende Einstellungen am Beatmungsgerät vorzunehmen:

Baudrate: 19200

Parität: keine

Stoppsbit: 1



Das Datenkabel wird beim PulmoVista® 500 an die COM1-Schnittstelle angeschlossen. Nach erfolgreicher Kopplung wird das Beatmungsgerät im Menü angezeigt.

The screenshot shows the 'Systemkonfiguration' window with the following settings:

- MEDIBUS-MEDIBUS.X-Einstellungen COM 1:** Baudrate: 19200; Parität: keine; Stoppsbit: 1
- Beatmungsgerät:** V300 (5002MEDIBUS.X, 2.42, 4.03)
- Importierte Kurven:** Paw, Flow, Vol. (each with a dropdown arrow)
- Volumenkurve:** Ein (checked), Aus
- Trendanzeige:** PEEP, pIP, VT (each with a dropdown arrow)

On the right side of the window, there are buttons for 'Oberblick', 'Anzeige', and 'Datenimport'.

D-11954-2017

Menü Datenimport, konfigurierbare Kurven und Parameter für die Trendansichten

2.10. BILDRATE

Im dynamischen EIT-Bild werden kontinuierlich relative Impedanzänderungen dargestellt. Die hohe zeitliche Auflösung dieses Verfahrens ermöglicht sehr genaue Analysen einzelner Phasen während der In- und Expiration sowie die Erfassung von Änderungen schneller intrathorakaler Vorgänge. Dies ist sinnvoll zur Beurteilung der regionalen Ventilation auch bei hohen Atemfrequenzen, wie HF-Beatmung, sowie zur Messung höherfrequenter Vorgänge, wie durch Herzaktivität. Im Menü EIT-Einstellungen lässt sich die Bildrate, d. h. die Anzahl der zu generierenden EIT-Bilder pro Sekunde, einstellen.

Einstellbare Bildrate = 10 – 50 Hz (Bilder/s)

Standardmäßig beträgt die Bildrate 20 Hz, bei höheren Atemfrequenzen ist eine höhere Bildrate zu empfehlen.

Beispiel:

a) Atemfrequenz = 30 AZ/min

Bildrate 20 Hz: zeitliche Auflösung 50 ms, d.h. 30 Bilder pro Atemzug

Bildrate 50 Hz: zeitliche Auflösung 20 ms, d.h. 75 Bilder pro Atemzug

b) HF-Beatmung: 10 Hz

Bildrate 20 Hz: 2 Bilder pro Atemzug

Bildrate 50 Hz: 5 Bilder pro Atemzug

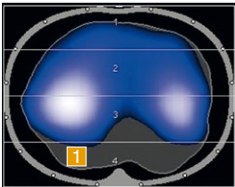
3. Klinische Beispiele

Mit der EIT der Lunge eröffnen sich in Ergänzung zu bereits etablierter Technologie neue Möglichkeiten für den klinischen Alltag. Seit mehr als 10 Jahren wird der Stellenwert der EIT durch zahlreiche klinische Studien und Fachartikel aufgezeigt. Insofern liegt es nahe, die EIT nach jahrelanger Forschung in den klinischen Alltag zu überführen. Hier liegt auch der besondere Stellenwert, da überall, wo lungenspezifische Fragen im Sinne der Therapie, des Monitorings oder der Diagnostik auftauchen, die EIT neue und additive Informationen zu Standardverfahren eines jeden Patienten individuell bereitstellt. Dieses Kapitel soll Ihnen einen kurzen Einblick in die praktische Anwendung der EIT geben, von der Prüfung der richtigen Gürtelposition über diverse Beispiele in der Anwendung bis zum konkreten Fall aus der Praxis.

3.1. IDENTIFIZIERUNG EINES RESPONDERS / NICHT-RESPONDERS NACH RECRUITMENT-MANÖVER (RM)

Schritt 1: RM durchführen

- Öffnen Sie die Standardansicht und wählen die ROIs »Zeilen«. Ändern Sie nach Bedarf die Zeilenhöhe.
Hinweis: Bei adipösen Patienten sind die ROIs so anzupassen, dass ROI 1 die ventrale Ventilation auch ausreichend erfasst.
- Prüfen Sie, ob das RM zur Verbesserung der Homogenität der Ventilation beitragen kann:
 - Ist die dorsale TV in ROI 4 $< 5\%$ (siehe Bild)?
 - Falls die TV in ROI 4 einen Alveolarkollaps suggeriert:
Führen Sie ein RM gemäß Krankenhausstandard durch.



D-11945-2017

1 TV ROI 4 $< 5\%$?

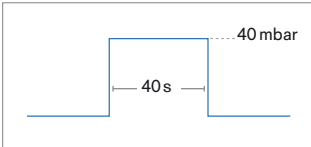


Da die individuelle Antwort jedes Patienten voneinander abweicht, sollte die Durchführung eines RM auch individuell bewertet werden.

Betrachten Sie dabei:

- Durchblutung des Patienten
- Herzfunktion/Hämodynamik
- andere Nebeneffekte/Komplikationen

BEISPIEL 40:40 MANÖVER



Inspiratory hold
Inspirationsdruck bei 40 mbar für 40 s

Recruitment-Manöver

Ziel:

- Rekrutierung kollabierter Lungenareale.
- Wählen Sie einen ausreichend hohen PEEP, um Alveolarkollaps nach RM zu verhindern.

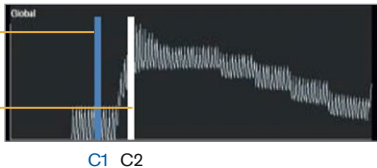
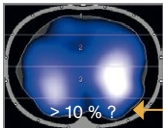
Praxis:

- Steigern Sie den end-inspiratorischen Druck P_{insp} für eine kurze Zeit.
- Applizieren Sie einen Druck über dem kritischen Öffnungsdruck der betroffenen Lungenregion, um nicht ventilerte oder schwach ventilerte Bereiche zu öffnen.

Schritt 2: Identifizierung eines Responders / Non-Responders mit PulmoVista® 500

1. Öffnen Sie die Ansicht »end-inspiratorischer Trend«

Vergleichen Sie den Status vor (C1) und während RM (C2).



2. Identifizierung eines Responders / Non-Responders:

Responder:







TV in ROI 4 ist während des RM signifikant größer, z. B. TV ROI 4 $\geq 10\%$, als vor dem RM und das Differenzbild zeigt hellblaue Areale in ROI 4.

Non-Responder:

Geringfügige oder keine Änderungen in ROI 4 ($\pm 0 - 2\%$)

Was zeigt mir hierzu die end-inspiratorische Trendansicht?

Die nachfolgende Tabelle zeigt zwei unterschiedliche Ergebnisse auf ein Recruitment-Manöver. Im ersten Fall handelt es sich um einen Responder, bei dem ein PIP von 34 mbar zum Öffnen der dorsalen Areale in ROI 4 (TV 1% \Rightarrow 13%) geführt hat. Gut zu erkennen im Differenzbild an den hellblauen Arealen. Der zweite Fall, der Non-Responder, zeigt im Gegensatz dazu keine nennenswerte Steigerung der dorsalen Ventilation in ROI 4 (TV 4% \Rightarrow 5%), trotz des relativ hohen PIP von 41 mbar. Hier ist ein deutlicher Anstieg der Ventilation in ROI 3 zu erkennen, was auch zu einer signifikanten Zunahme des Tidalvolumens von 434 ml zu 861 ml führte. In beiden Fällen wurde ein end-expiratorischer Druck (PEEP) von 15 mbar gewählt.

Examples	C1: Tidal Image before RM	C2: Tidal Image during RM	Differential Image	Trend table															
Responder to higher pressures				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>C1</th> <th>C2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TV ROI 4 (%)</td> <td>1</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>PEEP (mbar)</td> <td>5</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>PIP (mbar)</td> <td>20</td> <td>34</td> </tr> <tr> <td>VT (mL)</td> <td>660</td> <td>790</td> </tr> </tbody> </table>		C1	C2	TV ROI 4 (%)	1	13	PEEP (mbar)	5	15	PIP (mbar)	20	34	VT (mL)	660	790
	C1	C2																	
TV ROI 4 (%)	1	13																	
PEEP (mbar)	5	15																	
PIP (mbar)	20	34																	
VT (mL)	660	790																	
Non-responder to higher pressures				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>C1</th> <th>C2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TV ROI 4 (%)</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>PEEP (mbar)</td> <td>7</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>PIP (mbar)</td> <td>17</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td>VT (mL)</td> <td>434</td> <td>861</td> </tr> </tbody> </table>		C1	C2	TV ROI 4 (%)	4	5	PEEP (mbar)	7	15	PIP (mbar)	17	41	VT (mL)	434	861
	C1	C2																	
TV ROI 4 (%)	4	5																	
PEEP (mbar)	7	15																	
PIP (mbar)	17	41																	
VT (mL)	434	861																	

3.2. IDENTIFIZIERUNG VON DE-RECRUITMENT

Prinzip: Vergleich der höchsten PEEP-Stufe mit niedrigeren PEEP-Stufen

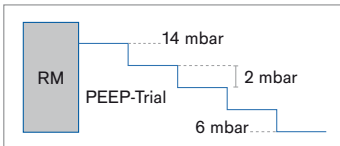
Verwenden Sie die end-inspiratorische Trendansicht, um den Verlust an Ventilation aufgrund der PEEP-Reduktion festzustellen.

Schritt 1: Führes Sie einen dekrementellen PEEP-Trial durch

Hierzu folgen Sie bitte den Verfahrensanweisungen bzw. dem Protokoll der Klinik.

BEISPIEL: DEKREMENTELLER PEEP-TRIAL

- Initiales Recruitment-Manöver
- PEEP-Schritte von 2 mbar



Definition von De-Recruitment:

Ventilationsverlust nach der Reduzierung des PEEP-Niveaus bei gleichbleibendem Driving Pressure ($P_{\text{insp}} - \text{PEEP}$) kennzeichnet den Beginn von De-recruitment. Ursache hierfür kann das Unterschreiten des alveolaren Schließdruckes mit darauffolgendem Alveolarkollaps sein. Dieses Phänomen wird oft begleitet von geringeren end-expiratorischen Lungenvolumina in diesen Regionen (überwiegend in den dorsalen Lungenabschnitten).

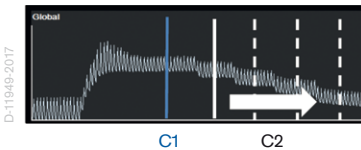
Schritt 2: Vorgehensweise und Bewertung des Volumenverlusts bei Patienten in Rückenlage durch De-Recruitment.

1. Vor dem RM: Öffnen Sie die Standardansicht

Wählen Sie die ROIs ›Zeilen‹. Ändern Sie nach Bedarf die Zeilenhöhe. Hinweis: Bei adipösen Patienten sind die ROIs so anzupassen, dass ROI 1 die ventrale Ventilation auch ausreichend erfasst.

2. Nach dem PEEP-Trial:

Öffnen Sie die Ansicht ›end-inspiratorischer Trend‹, setzen Sie Cursor C1 auf das höchste PEEP-Niveau und bewegen Sie C2 in Richtung abnehmender PEEP.



3. Identifizieren Sie den Volumenrückgang

Differenzbild: Orangefarbene Felder deuten auf einen Ventilationsrückgang hin.

Tidal Image: Die Kontur der ventilerten Zone ermöglicht es, die minderventilerten bzw. die minderbelüfteten Areale zu identifizieren.

Tidal Variation: Deutlicher Rückgang der Ventilation (TV ROI 4 < 10%).

Examples	Tidal Image Cursor 1:	Tidal Image Cursor 2:	Differential Image	TV ROI 4 [%]
PEEP 14 vs. PEEP 12				C1 C2 11 9
PEEP 14 vs. PEEP 10				C1 C2 11 5
PEEP 14 vs. PEEP 8				C1 C2 11 1

D-11948-2017

3.3. IDENTIFIZIERUNG VON ÜBERDEHNUNGEN

Prinzip: Vergleich zwischen niedrigster PEEP-Stufe und höheren PEEP-Stufen

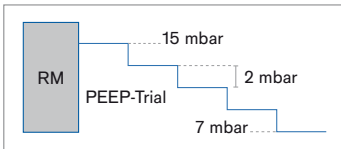
Verwenden Sie die end-inspiratorische Trendansicht, um den Ventilationsverlust aufgrund von PEEP-Erhöhungen zu ermitteln.

Schritt 1: Führen Sie einen dekrementellen PEEP-Trial durch

Hierzu folgen Sie bitte dem Protokoll der Klinik.

BEISPIEL: DEKREMENTELLER PEEP-TRIAL

- Initiales Recruitment-Manöver
- PEEP-Schritte von 2 mbar



Definition für Überdehnung:

Der Begriff Überdehnung beschreibt eine übermäßige Ausdehnung der Alveolen, welche häufig durch hohe Tidalvolumina und/oder hohe end-expiratorische Lungenvolumina infolge hoher PEEP-Werte verursacht wird. Bei der elektrischen Impedanztomografie kann von einer Überdehnung ausgegangen werden, wenn ein erheblicher Ventilationsverlust in den nicht-abhängigen Arealen bei höheren Atemwegsdrücken verzeichnet wird. Bei einer druckkontrollierten Beatmung kann der Rückgang an Ventilation auch eine Reduktion der regionalen Compliance bedeuten.

Schritt 2: Ermittlung des Ventilationsverlusts bei Patienten in Rückenlage durch Überdehnung

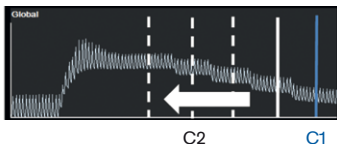
1. Vor dem RM: Öffnen Sie die Standardansicht.

Wählen Sie die ROIs ›Zeilen‹. Ändern Sie nach Bedarf die Zeilenhöhe. Hinweis: Bei adipösen Patienten sind die ROIs so anzupassen, dass ROI 1 die ventrale Ventilation auch ausreichend erfasst.

2. Nach dem PEEP-Trial:

Öffnen Sie die Ansicht ›end-inspiratorischer Trend‹, Vergleichen Sie den niedrigsten PEEP (Cursor C1) mit höheren PEEP-Stufen (Cursor 2). C1 verbleibt als Referenz, C2 wird stufenweise in Richtung höherer PEEP-Werte verschoben.

D-11951-2017



3. Identifizierung des Volumenrückgangs

Differenzbild: Orangefarbene Felder deuten auf einen Ventilationsrückgang hin.

Tidal Image: Die Kontur der ventilierten Zone ermöglicht, die minderbelüfteten Areale zu identifizieren.

Tidal Variation: Rückgang der ventralen Ventilation ROI 1 und 2 (abgesehen von einer möglichen Umverteilung potenziell wiedereröffneter Lungenareale in dorsalen Bereichen der Lunge).

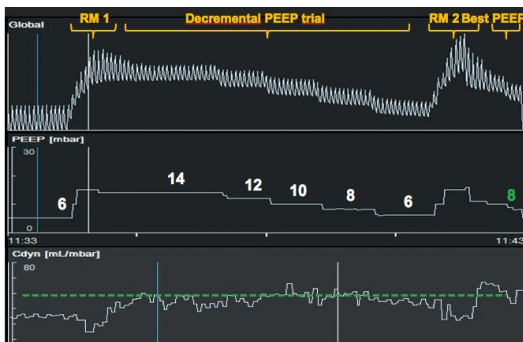
Examples	Tidal Image Cursor 1:	Tidal Image Cursor 2:	Differential Image	TV ROI 1 + 2 [%]						
PEEP 7 vs. PEEP 11				<table border="1"> <tr><td>C1</td><td>C2</td></tr> <tr><td>ROI 1</td><td>10 9</td></tr> <tr><td>ROI 2</td><td>43 38</td></tr> </table>	C1	C2	ROI 1	10 9	ROI 2	43 38
	C1	C2								
	ROI 1	10 9								
ROI 2	43 38									
PEEP 7 vs. PEEP 13				<table border="1"> <tr><td>C1</td><td>C2</td></tr> <tr><td>ROI 1</td><td>10 9</td></tr> <tr><td>ROI 2</td><td>43 37</td></tr> </table>	C1	C2	ROI 1	10 9	ROI 2	43 37
	C1	C2								
ROI 1	10 9									
ROI 2	43 37									
PEEP 7 vs. PEEP 15				<table border="1"> <tr><td>C1</td><td>C2</td></tr> <tr><td>ROI 1</td><td>10 8</td></tr> <tr><td>ROI 2</td><td>43 36</td></tr> </table>	C1	C2	ROI 1	10 8	ROI 2	43 36
C1	C2									
ROI 1	10 8									
ROI 2	43 36									

D-11950-2017

3.4. REGIONALE IMPEDANZMESSUNG ALS ADDITIVE METHODE ZUR BEST-PEEP-FINDUNG

Dieses klinische Beispiel zeigt, welchen Stellenwert die EIT bei der Best-PEEP-Findung hat. Bei einem postoperativen Patienten wurde ein Recruitment-Manöver mit nachfolgendem dekrementellem PEEP-Trial unter druckkontrollierter Beatmung bei konstantem Driving Pressure sowie unter EIT-Kontrolle durchgeführt (PEEP-Sprung von 6 auf 14 mbar und in 2-mbar-Schritten stufenweise auf 6 mbar zurückgestellt). Synchron hierzu wurde die dynamische Compliance Cdyn. gemessen und wurden die Messwerte an PulmoVista® 500 übertragen.

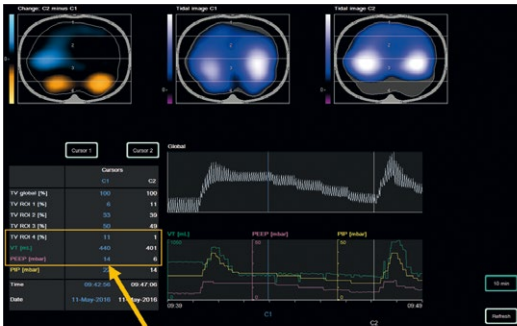
Ausgehend von den besten Compliancewerten bei geringstmöglichem Beatmungsdruck (siehe Trendverlauf) ließ sich ein Best-PEEP von 8 mbar vermuten, da die dynamische Compliance bei der nächsten PEEP-Stufe von 6 mbar zurückging, wie auch das Tidalvolumen VT von 440 ml zu 401 ml.



Trendverlauf der dynamischen Compliance Cdyn. in Abhängigkeit des Recruitment-Verlaufs. Ohne Kenntnis der regionalen Volumenverteilung scheint ein PEEP von 8 mbar der geringstmögliche ohne nennenswerten Complianceverlust zu sein.

Bei genauerer Betrachtung der zum Complianceverlauf durchgeführten EIT-Messungen zeigt sich aber, dass die alleinige Beurteilung von Beatmungsparametern wie der dynamischen Compliance oder des Tidalvolumens, die zwar eine globale, aber keine regionsspezifische Interpretation zulassen, möglicherweise zur Feinjustierung des Best-PEEP allein nicht ausreicht. Zusätzliche regionsspezifische Informationen mit Hilfe der EIT können dabei hilfreich sein und bei der PEEP-Einstellung helfen.

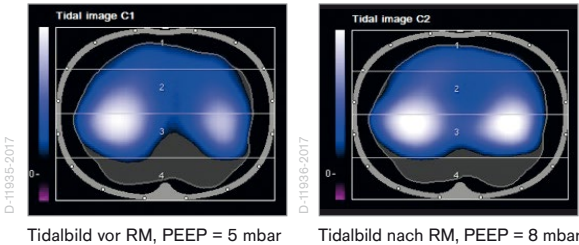
Wie die hier durchgeführten EIT-Messungen anhand des nachfolgenden Bilds deutlich machen, fand bei dem vermuteten PEEP von 8 mbar bereits ein erhebliches Derecruitment in den dorsalen Lungenarealen statt (TV ROI 4, Rückgang von 11 auf 1). Obwohl das Tidalvolumen nahezu konstant blieb, zeigen die TV-Werte ROI 1–3, dass der dorsale Ventilationsverlust zu einem Anstieg der Ventilation in den oberen Regionen geführt haben muss.



TV ROI 4	11	1
VT	440	442
PEEP	14	8

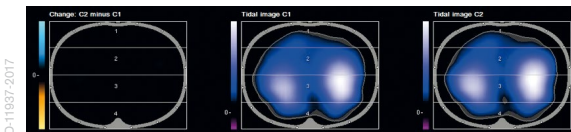
D-11952-2017

Betrachtet man die Verteilung vor dem RM und bei dem eingestellten PEEP von 8 mbar, dann zeigt sich dorsal (ROI 4) kein nennenswertes Recruitment.



Interessant ist, dass das Derecruitment nach dem RM und der Anhebung des PEEP von ursprünglich 5 mbar auf 8 mbar allein durch das Monitoring von Tidalvolumen und dynamischer Compliance am Beatmungsgerät nicht bemerkt wurde. Der Rückgang der dorsalen Ventilation wurde durch die Zunahme der Ventilation in den ventralen Lungenregionen kompensiert und blieb somit der globalen Information des Beatmungsmonitorings verborgen.

Eine Vermeidung des dorsalen Derecruitments kann hier durch Erhöhung des PEEP auf 12 mbar erreicht werden. Das nachfolgende Bild zeigt, dass in Bezug auf die Referenz C1 bei PEEP von 14 mbar kein nennenswerter Rückgang der Ventilation im dorsalen Bereich bei PEEP von 12 mbar eintrat. Entsprechend blieb auch das linke Differenzbild schwarz, d. h. es fand keine signifikante Änderung in der Verteilung der Ventilation statt.

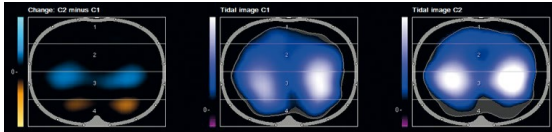


PEEP 14 mbar versus PEEP 12 mbar ohne signifikanten Rückgang der dorsalen Ventilation

Bezugnehmend auf die Compliance und den geringstmöglichen PEEP scheint diese Einstellung der beste Kompromiss zu sein. Wie im nachfolgenden Bild zu sehen ist, macht sich bei einem PEEP von 10 mbar bereits ein Verlust der

dorsalen Ventilation und eine Umverteilung in die mittlere Region bemerkbar. Im Differenzbild ist die Veränderung der Ventilationsverteilung gut zu erkennen.

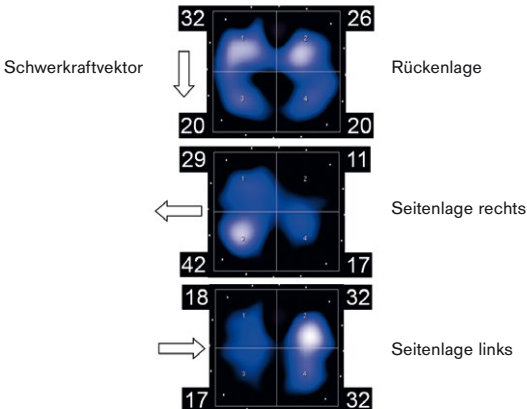
D-11938-2017



PEEP 14 mbar versus PEEP 10 mbar mit Umverteilung dorsaler Ventilation in die mittleren Lungenabschnitte

3.5. EINFLUSS DER LAGERUNG AUF DIE VENTILATION

Die Lagerung eines Körpers hat einen Einfluss auf die Ventilation der Lunge. Die Änderung der Ventilation lässt sich mit PulmoVista® 500 sichtbar machen. Ob und in welchem Ausmaß eine Patientenlagerung Erfolg verspricht, hängt zwar vom individuellen Status des Patienten ab, der Effekt ist jedoch unmittelbar nach Veränderung der Lagesituation durch die EIT ersichtlich. Hier ein Beispiel für eine gesunde Lunge. Die Pfeile deuten auf die Schwerkraftvektoren hin, die Zahlen geben die Verteilung der Ventilation wieder.



D-11957-2017

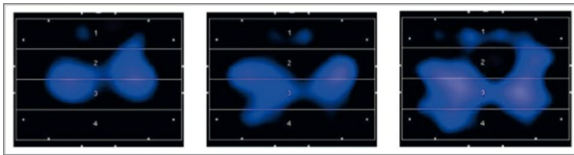
3.6. PATIENTENPOSITIONIERUNG BAUCHLAGE

PulmoVista® 500 ermöglicht die Visualisierung ventilierter und nicht ventilierter Lungenareale und eignet sich daher auch Veränderung der Ventilation nach Anwendung einer therapeutischen Maßnahme wie zum Beispiel nach einer Patientenumlagerung in die Bauchlage darzustellen und zu verfolgen.

Initial Condition

20 min. after 1st
proning trial

20 min. after 2nd
proning trial

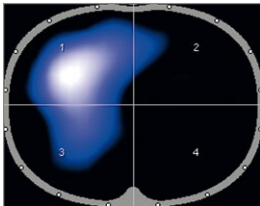


D-11909-2017

Kotani T et al, J Anesth 2016 Feb 7;30(1):161-5. Epub 2015 Oct 7.

3.7. INTUBATIONSKONTROLLE

PulmoVista® 500 kann helfen, eine fehlerhafte Tubuslage zu erkennen. Durch die Echtzeitinformation kann EIT helfen, die richtige Tubuslage während der Intervention zu identifizieren.

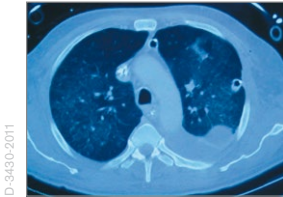


D-11910-2017

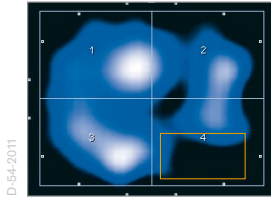
Bsp. Tubus zu tief → einseitige
Lungenventilation im EIT-Bild
erkennbar

3.8. PATIENT MIT PLEURAERGUSS

Folgendes Beispiel zeigt den Effekt eines Areals mit Flüssigkeitsansammlung in der Lunge, hier im Fall eines Pleuraergusses. Das markierte Areal wird nicht ventiliert und solange sich keine Änderungen ergeben, bleibt diese Region ›schwarz‹.



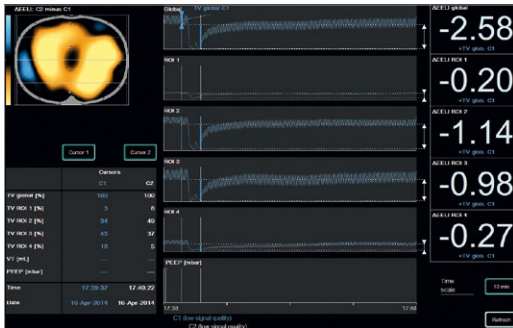
Pleuraerguss im CT Bild



Pleuraerguss im EIT-Bild
(markierte Stelle)

3.9. ΔEELI-TREND NACH ABSAUGUNG

Der ΔEELI-Trend ist prädestiniert um end-expiratorische Vorgänge in der Lunge sichtbar zu machen und auszuwerten. In diesem Fall wurde eine Sekretabsaugung durchgeführt, die zunächst einen starken Abfall der end-expiratorischen Lungenimpedanz (EELI) zur Folge hatte (-2,58 x TVglob. C1).



Nach ca. 5 Minuten zeigt sich bereits ein deutlicher Zuwachs der EELI, global (-0,5 x TTVglob. C1) und regional.



3.10. KLINISCHE FALLBEISPIELE

3.10.1. Best-PEEP-Trial mit Δ EELI-Trend

Die Patientin war 58 Jahre alt und hatte ein Körpergewicht von 230 kg bei einer Körpergröße von 160 cm. Die Patientin befand sich wegen eines perianalen Abszesses sowie Dekubitus der Steißregion in stationärer Behandlung. Im Verlauf wurde die Patientin mit dem Verdacht auf Vorliegen einer Lungenarterienembolie und beginnender Sepsis auf die Intensivstation verlegt.

Zu Beginn der Messreihe wurde eine Blutgasanalyse (BGA) entnommen um den Ausgangsstatus des pulmonalen Gasaustausches zu dokumentieren. Danach wurden der PEEP und der Spitzendruck (P_{insp}) um jeweils 2 mbar erhöht, 15 Minuten abgewartet und eine weitere Blutgasanalyse durchgeführt. Diese Prozedur wurde so oft wiederholt, bis sich in der Blutgasanalyse der paO_2 -Wert nicht mehr steigerte beziehungsweise wieder fiel. Durch den simultanen Einsatz des PulmoVista® 500 war es möglich, mit dem Δ EELI-Trend

den Verlauf der Veränderung der funktionellen Residualkapazität (FRC) zu messen und grafisch darzustellen.

Bei der Analyse der durch die EIT gewonnenen Messwerte ist der › Δ EELI-Trend‹ sehr hilfreich. Über diese Funktion wird es möglich, Recruitment- und De-Recruitment-Vorgänge sichtbar zu machen und den optimalen PEEP einzugrenzen. Der › Δ EELI-Trend‹ stellt Veränderungen dar, die durch Schwankungen des end-expiratorischen Lungenvolumens und folglich durch Änderungen der end-expiratorischen Lungenimpedanz induziert werden.

Ein Anstieg der Trendkurve entspricht einem Anstieg der FRC und kann als regionales Recruitment interpretiert werden, ein Abfall hingegen als De-Recruitment. Auf diesem Weg wird es möglich den ›besten PEEP‹ zu detektieren. Um festzustellen, ob durch die EIT ein gleichwertiger PEEP-Trial zu den durch Blutgasanalysen dokumentierten PEEP-Trials möglich ist, wurde bei verschiedenen Patienten das oben genannte Prozedere durchgeführt und gleichzeitig mittels EIT der Verlauf des › Δ EELI-Trend‹ beobachtet und ausgewertet. Als Beispiel hierfür soll eine invasiv beatmete Patientin mit einer ausgeprägten Gasaustauschstörung vorgestellt werden.

Es wurde im BIPAP-Modus mit folgenden Einstellungen / Werten beatmet:

- P_{insp} 26 mbar
- PEEP 10 mbar
- FiO_2 0,4
- Frequenz 20/min.
- Compliance 55 ml/mbar

Die Ergebnisse der Blutgasanalyse unter diesen Respiratoreinstellungen sahen wie folgt aus:

- pH 7,378
- paCO_2 43,7 mmHG
- paO_2 73,4 mmHg
- HCO_3 24,8 mmol/L

Das EIT mit PulmoVista® 500 wurde vorbereitet und die Messung gestartet.

$P_{\text{insp.}}$ und PEEP wurden um jeweils 2 mbar erhöht.

Nach 7 Minuten BGA-Kontrolle:

- pH 7,365
- paCO_2 45 mmHg
- paO_2 73,2 mmHg
- HCO_3 24,5 mmol/L

Erneute Steigerung von $P_{\text{insp.}}$ und PEEP um jeweils 2 mbar.

Nach 10 Minuten Wartezeit erneute BGA mit folgendem Ergebnis:

- pH 7,37
- paCO_2 43,9 mmHg
- paO_2 79,6 mmHg
- HCO_3 24,4 mmol/L

Erneute Steigerung von $P_{\text{insp.}}$ und PEEP um jeweils 2 mbar.

Nach 10 Minuten erneute BGA mit folgendem Ergebnis:

- pH 7,37
- paCO_2 40,8 mmHg
- paO_2 83,5 mmHg
- HCO_3 23,2 mmol/L

Die Respiratoreinstellungen zu diesem Zeitpunkt:

- $P_{\text{insp.}}$ 34 mbar
- PEEP 18 mbar
- FiO_2 0,4
- Frequenz 20/min.
- Compliance 47 ml/mbar

Bei der EIT wurde der › ΔEELI -Trend‹ nach dem PEEP-Trial aufgezeichnet.



› Δ EELI-Trend‹ zur Ermittlung der end-expiratorischen Volumenänderungen

Dem registrierten › Δ EELI-Trend‹ kann man folgende visuelle Darstellung während des PEEP-Trials entnehmen:

› Δ EELI-Trend‹ global und Δ EELI-Trend ROI 1 bis 4. Anhand dieser Grafiken kann man sehr gut die Effekte des Recruitments über die verschiedenen Lungengareale festhalten.

Bei der Einstellung mit einem $P_{insp.}$ 32 mbar und einem PEEP von 16 mbar lässt sich keine Steigerung der FRC anhand dieser Kurven mehr feststellen. Wie man gut erkennen kann, gehen die Kurven von einem ansteigenden in einen linearen Verlauf über. Dieser lineare Verlauf der Kurven wird als stabiles Plateau gewertet, auf dem weder Recruitment- noch De-Recruitment-Phänomene stattfinden.

In den ventralen ROI 1 und ROI 2 hat die größte Zunahme der FRC stattgefunden. In den dorsalen ROI 3 und ROI 4 ist die Steigerung der FRC eher gering ausgefallen. Dieses Verteilungsmuster ließ sich auch in anderen Messserien reproduzieren.

3.10.2. PEEP-Einstellung unter EIT-Kontrolle

Der Patient wurde nach Implantation einer aortobiilacalen Y-Prothese auf die Intensivstation aufgenommen. Als Vorerkrankungen wurde angegeben:

- Generalisierte Arteriosklerose mit Zustand nach Stenting und Angioplastie der Arteriae carotis communis und interna und pAVK im Stadium IIb (klinisch links führend)
- Zustand nach Plattenepithelkarzinom des anterioren Mundbodens mit suprahyoidaler Ausräumung

Bei dem Patienten ließ sich zunächst durch den PEEP-Trial in den BGA keine Verbesserung des Gasaustausches herstellen. In dem gleichzeitig gemessenen Δ EELI-Trend war ebenfalls kein Recruitment festzustellen. Der Patient wurde postoperativ orotracheal intubiert, spontan atmend im CPAP-Modus auf der Intensivstation aufgenommen.

Der pulmonale Gasaustausch sah wie folgt aus:

- pH 7,49 mbar
- $p\text{aCO}_2$ 34,9 mmHg
- $p\text{aO}_2$ 82,6 mmHg
- HCO_3 27,5 mmol/L

Die Respiratoreinstellungen zu diesem Zeitpunkt:

- FiO_2 0,3
- PEEP 5 mbar
- Frequenz 13/min.
- AMV 6,8 L/min

Da der Patient nicht regelhaft wach wurde, konnte er nicht extubiert werden und es musste aufgrund fehlender Schutzreflexe die CPAP-Beatmungstherapie über eine Evita V-500 fortgesetzt werden. Im Verlauf kam es bei diesem Patienten zu einem Herz-Kreislauf-Stillstand.

Nach erfolgreicher kardiopulmonaler Reanimation verschlechterte sich der pulmonale Gasaustausch wie folgt:

- pH 7,39
- paCO_2 42 mmHg
- paO_2 81 mmHg
- HCO_3 24,5 mmol/L

Beatmungseinstellungen im BIPAP-Modus:

- FiO_2 0,5
- PEEP 5 mbar
- $\text{P}_{\text{insp.}}$ 18 mbar
- $\text{T}_{\text{insp.}}$ 1,5 sek.
- Frequenz 14/min.
- AMV 6,4 L/min.

Im weiteren Verlauf verschlechterte sich der Gasaustausch zunehmend, trotz Steigerung des Spitzendrucks auf 23 mbar und Erhöhung des PEEP auf 8 mbar. Unter dieser Einstellung fiel der paO_2 trotz einer FiO_2 von 0,5 auf 64,7 mmHg ab und der paCO_2 stieg auf 45,1 mmHg an. Zu diesem Zeitpunkt führten wir den PEEP-Trial unter Kontrolle der EIT durch. Wie oben bereits erwähnt brachte der PEEP-Trial bei diesem Patienten keinen Erfolg und wurde deshalb abgebrochen und die vorherigen Beatmungsparameter wurden wieder übernommen.

Durch das EIT der Lunge konnte man feststellen, dass der Patient trotz Sedierung in der Lage war, spontane Atemzüge durchzuführen. Da der Patient die spontanen Atemzüge mit hohen Atemzugvolumina durchführen konnte, stellten wir die Sedierung so um, dass es dem Patienten möglich war, mehr Eigenatmung mit anzubieten. Des Weiteren führten wir die Gasaustauschstörung auf eine leicht zu positive Bilanz zurück und gaben dem Patienten Diuretika zur negativen Bilanzierung. Beide Maßnahmen führten zu einer deutlichen Verbesserung des Gasaustausches.

BGA nach Umstellung der Sedierung und Zunahme der Spontanatmung:

- pH 7,32
- paCO_2 56,2 mmHg
- paO_2 131 mbar
- HCO_3 26 mmol/L

Die Respiratoreinstellung zu diesem Zeitpunkt:

- FiO_2 50%
- PEEP 5 mbar
- $\text{P}_{\text{insp.}}$ 18 mbar
- $\text{T}_{\text{insp.}}$ 1,8 sek.
- Frequenz 14/min.
- AMV 9,5 L/min.

Die FiO_2 konnte im weiteren Verlauf weiter reduziert werden. Um die Ventilation zu verbessern und damit den paCO_2 zu senken, haben wir den PEEP auf 7 mbar reduziert. So konnten wir, bei suffizienter Oxygenierung, das paCO_2 auf 46,3 mbar reduzieren.

3.10.3. Regionale Ventilationsstörung bei Pneumothorax

Ausgangssituation:

Der 54-jährige Patient hatte, nach konservativer Therapie eines ARDS, rezidivierende respiratorische Einbrüche unter liegender Thoraxdrainage links, eine chronische Pankreatitis bei Alkoholabusus und einen körperlichen Zustand nach Darmresektion bei Ischämie.

Der Patient wurde spontan unter CPAP beatmet bei einem FiO_2 von 0,3 und einem PEEP-Niveau von 5 mbar. Die Untersuchung mit Hilfe der EIT hatte das Ziel, die regionale Ventilation aufgrund der instabilen Situation:

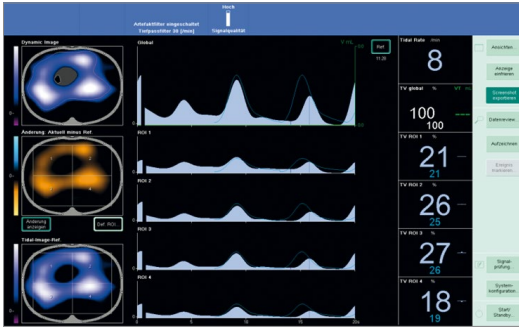
- zunehmende respiratorische Insuffizienz mit Notwendigkeit zur nicht-invasiven Ventilation (NIV),
- zunehmende Kreislaufinstabilität mit neuer Katecholaminpflichtigkeit,
- unklarer Abfall der peripheren Sauerstoffsättigung,

genauer zu betrachten und ggf. geeignete Maßnahmen abzuleiten. Als spezielle Fragestellung sollte zusätzlich geklärt werden, ob eine ›Optimierung der pulmonalen Situation durch konservative Maßnahmen‹ möglich ist.

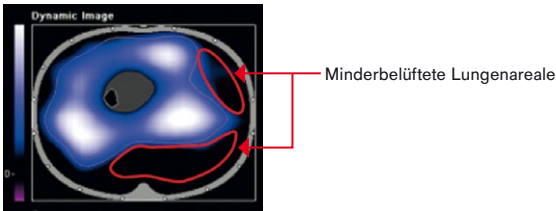
Ergebnis:

Mit der EIT war zunächst eine Identifikation der nicht ventilierten Bereiche möglich. Es zeigte sich, wie im nachstehenden EIT-Bild zu erkennen ist, primär ein Problem mit der linken Lunge. Auf den ersten Blick lässt sich aus der gezeigten Darstellung die folgende Situation ablesen:

- Die Luftverteilung im Thorax war abnormal.
- In der dorsalen Region links (ROI 4) lag eine reduzierte Belüftung (Ventilation) von Lungenarealen vor.
- ROI 2 (ventral links) zeigt eine Ventilationsstörung (Eindellung).
- Der Hauptanteil der Ventilation zeigte sich in ROI 2 (ventral links) und ROI 3 (dorsal rechts).



PulmoVista® 500 Standardansicht mit Referenzbild und Änderungs-
darstellung. In diesem Fall eine Verminderung der regionalen Ventila-
tion im linken dorsalen Bereich. Die nicht ventilierte Region in der
Mitte des Bildes ist die Herzregion.



Vergrößerter Ausschnitt des
»Dynamic Image«

Zum Vergleich wurde ein thorakaler CT-Scan herangezogen. Hierbei zeigten
sich folgende Auffälligkeiten, eine Übereinstimmung mit der Darstellung des
EIT-Bildes ist dabei gut zu erkennen:

- Ventraler Pneumothorax links
- »Rest«-Pleuraerguss beidseits
- Ausschluss Lungenembolie
- Weichteilemphysem links



Thorakaler CT-Scan

Zu dieser Situation wurde folgende Konklusion getroffen:

- Entlastung des linksseitigen, ventralen Pneumothorax erforderlich.
- Negativbilanz zur Ausschwemmung der Pleuraergüsse erforderlich.
- Kreislaufinstabilität durch verdrängende Effekte der intrathorakalen, extrapulmonalen Luft bedingt.

Maßnahmen

Hinsichtlich der vorliegenden Ergebnisse wurden Maßnahmen getroffen:

- Neuplatzierung der bereits einliegenden Thoraxdrainage links.
- Negativbilanz durch Diuretikagabe.
- PEEP-Trial 8 bis 12 mbar.

Ergebnisse nach Durchführung der Maßnahmen

PulmoVista® 500 wurde genutzt, um beim wachen, nicht intubierten Patienten den besten PEEP-Level für NIV zu eruieren.

- Zunahme der Ventilation in ROI 4 von 16 auf 21 %.
- Abnahme der Ventilation in ROI 1 von 19 auf 25 % (Überblähung).
- Zunahme der funktionellen Residualkapazität über allen ROIs, siehe folgende EIT-Darstellung.



Der Δ EELI-Trend zeigt einen Anstieg der end-expiratorischen Lungenimpedanz bzw. des end-expiratorischen Lungenvolumens.

Schlussfolgerung

Erkennen der problematischen Lungenseite und Effekt der eingeleiteten Maßnahmen in Echtzeit durch Benutzung des PulmoVista® 500 für 10 Minuten:

- Oxygenation verbessert
- Notwendigkeit der NIV reduziert
- Best-PEEP herausgefunden

Nach 2 Stunden:

- stabile pulmonale Situation unter NIV
- Δ EELI-Trend zeigte eine Zunahme der Ventilation und des Lungenvolumens

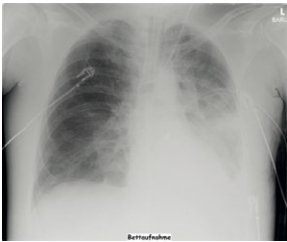
3.10.4. Regionale Ventilationsstörung bei Pleuraerguss

Ausgangssituation:

- 54-jähriger Patient nach konservativer Therapie eines ARDS
- Rezidivierende respiratorische Einbrüche
- Chronische Pankreatitis bei Alkoholabusus
- Zunächst Spontanatmung (Raumluft)

Die Röntgendiagnostik ergab folgende Diagnose:

- Verschattung der linken Lunge
- Pleuraerguss links mit begleitender Teilatektase unter liegender Drainage



Röntgenthorax mit Verschattung links

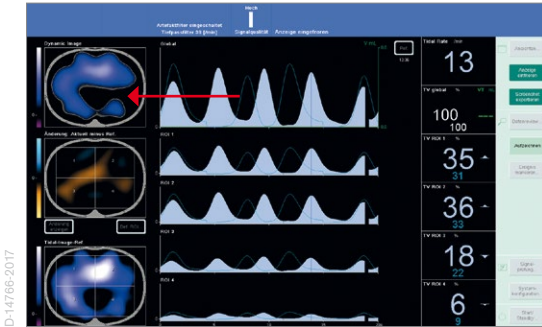
Der Patientenzustand verschlechterte sich durch:

- eine zunehmende respiratorische Insuffizienz und
- einen unklaren Abfall der peripheren Sauerstoffsättigung.

Es wurde ein EIT indiziert, um einen Überblick über die Belüftungssituation zu erhalten, und zur Klärung der Frage, ob eine Optimierung der pulmonalen Situation unter EIT-Kontrolle möglich ist.

Ergebnis

Mit dem EIT konnten schnell die nicht ventilerten Lungenareale identifiziert werden, insbesondere eine inhomogene Luftverteilung im Thorax, welche mit der Verschattung im Röntgenbild korrelierte.



D-14766-2017

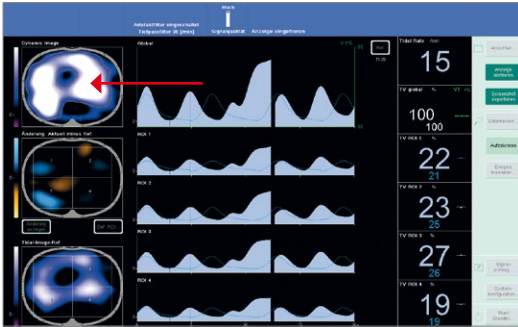
Das EIT macht das Belüftungsproblem deutlich, das sich primär in den dorsalen Anteilen der linken Lunge (ROI 4) abzeichnete (siehe Pfeil).

Durchgeführte Maßnahmen:

- a) Recruitment-Manöver (nach Notfall-Intubation) und PEEP-Steigerung auf 12 mbar

Ergebnis:

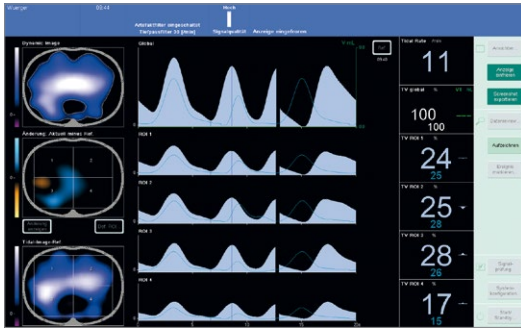
- Rekrutierung von nicht belüftetem Lungengewebe
- Überblähung der restlichen Areale mit Abnahme der regionalen Ventilation



Im dynamischen EIT-Bild ist der Ventilationszuwachs in ROI 4 nach Recruitment und PEEP-Erhöhung deutlich zu erkennen. Entsprechend zeigen die numerischen Werte eine Verbesserung der Homogenität in allen Regionen und einen Zuwachs der Ventilation in ROI 4 von 6% auf 19%.

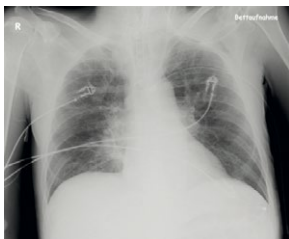
b) Nach 2 Stunden und Entlastung eines linksseitigen Pleuraergusses durch Neuanlage einer Thoraxdrainage:

- Homogenisierung der Ventilation der gesamten Lunge.
- Nachhaltige Rekrutierung in ROI 3 und ROI 4.
- Vermeidung zu hoher Beatmungsdrücke mit konsekutiver Überblähung.



Zunahme und Homogenisierung der Ventilation durch nachhaltige Rekrutierung der dorsalen Lungenareale

Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der Röntgenaufnahme wider, die im Anschluss an die Rekrutierung und Entlastung des linksseitigen Ergusses erstellt wurde. Deutlich zu erkennen ist der Rückgang der Verschattung in den basalen Anteilen der linken Lunge.



Thoraxröntgen nach Rekrutierung und neuangelegter linksseitiger Drainage

Schlussfolgerung

Mit Hilfe der EIT unter Verwendung des Geräts PulmoVista® 500 war es möglich, die problematische Lungenseite zu verifizieren und den Effekt eingeleiteter Maßnahmen in Echtzeit durch die EIT-Bildgebung zu kontrollieren und mittels Thoraxröntgen zu vergleichen.

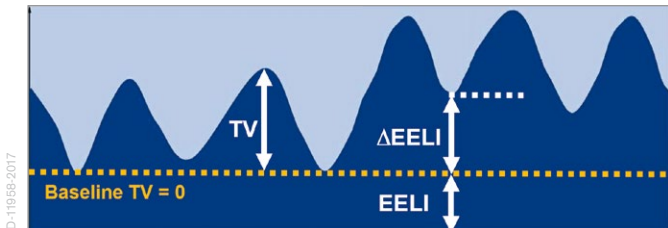
Es wurde ein Problem in der regionalen Ventilation der Lunge erkannt.

- Es wurden konservative Maßnahmen zur Verbesserung der Ventilation durchgeführt,
- die Effektivität der Maßnahmen mit PulmoVista® 500 überprüft als
- zusätzliche Indikationshilfe für weitere Diagnostik.

Nach 2 Stunden zeigte sich eine deutliche Besserung der pulmonalen Situation nach Entlastung eines linksseitigen Pleuraergusses.

EIT-Terminologie

Die EIT-Terminologie ist für viele noch Neuland, da sie sich von den Begriffen und Definitionen der Beatmungstechnologie unterscheidet bzw. diese ergänzt. Begriffe wie TV, EELI und Δ EELI treten häufig auf und werden daher hier im Zusammenhang anhand der Impedanzkurve kurz erläutert.



Globale Impedanzkurve

Baseline:

Setzt die Referenz für den nächsten Atemhub oder Folge von Atemhüben (Impedanzänderungen). Das EIT-Bild der Baseline ist schwarz.

TV = Tidal Variation:

Impedanzanstieg während der Inspiration; korreliert zum Tidalvolumen VT.

TV global stellt die Tidalvariation zwischen dem Minimalwert und dem Maximalwert in der globalen Impedanzkurve für jeden Atemzug dar. Ungeachtet des Atemzugvolumens beträgt dieser Wert immer 100%, er dient lediglich als Referenz für die Tidalvariationen der ROI.

TV ROI:

Regionale Tidalvariationen zeigen den Tidalvariation-Prozentwert der ventilationsbedingten Impedanzänderung an, die in der entsprechenden ROI stattfindet.

EELI = end-expiratorische Lungenimpedanz:

End-expiratorische Lungenimpedanz steht in engem Zusammenhang mit dem end-expiratorischen Lungenvolumen innerhalb der Elektrodenenebene.

EELV wird oft mit dem Begriff FRC synonym verwendet. Allerdings atmen mechanisch Lungenvolumen-beatmete Patienten gegen PEEP und nicht gegen Umgebungsdruck aus. Daher verwenden Ärzte den Begriff EELV (end-expiratorisches Lungenvolumen) an Stelle von FRC.

FRC ist ein physiologischer Parameter, der das Residualvolumen der in der Lunge befindlichen Luftkapazität am Ende der passiven Expiration (gegen Umgebungsdruck) beschreibt. EELV (bzw. FRC) beschreibt das Luftvolumen, das zum Gasaustausch zwischen zwei Atemzügen beitragen kann.

 Δ EELI = Änderung der EELI:

Änderungen des end-expiratorischen Lungenvolumens in der Elektrodenenebene. Absolute Impedanzmessungen können nicht direkt mit der end-expiratorischen Lungenimpedanz in Verbindung gebracht werden. Dennoch steht Δ EELI in engem Zusammenhang mit Änderungen des end-expiratorischen Lungenvolumens innerhalb der Elektrodenenebene. Der von PulmoVista® 500 bestimmte Parameter Δ EELI drückt Abweichungen der regionalen end-expiratorischen Lungenimpedanz in Bezug auf die globale Tidalvariation aus.

Limitationen in der Anwendung

- Patienten mit Herzschrittmachern, Defibrillatoren oder elektrisch aktiven Implantaten.
- Patienten mit verletzter Haut oder vermindertem Hautkontakt an den Elektroden durch Wundverbände.
- Patienten, bei denen die Anbringung des Patientengürtels ein Risiko hervorrufen könnte, z.B. Patienten mit Wirbelverletzungen oder Frakturen.
- Unkontrollierbare Körperbewegungen.
- Patienten mit geringeren Tidalvolumina als 200 ml oder einem BMI über 50.
- Interventionelle Einflüsse elektrischer Geräte wie z.B. bei der HF-Chirurgie.
- Starke magnetische Felder, z. B. MRT.
- Bilder von extrem adipösen Patienten oder Patienten mit massiven Lungenödemen müssen mit Sorgfalt geprüft werden, da die Signalqualität beeinträchtigt sein könnte.
- Schwangere oder Kinder unter 5 Jahren.
- Verwendung mit anderen Bioimpedanzgeräten.

KLINISCHE UNTERSTÜTZUNG

Universitätsklinikum Knappschaftskrankenhaus Bochum GmbH

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie

Martin Schwertner

Pflegerische Leitung der operativen Intensivtherapiestation

- Fachkrankenschwester für Anästhesie und Intensivmedizin
- Atmungstherapeut DGP
- ECMO Beauftragter Pflege

Dr. med. Günther Oprea

Geschäftsführender Oberarzt, Leitender Arzt Schmerzmedizin,
Oberarzt Intensivmedizin

- Interdisziplinäre, operative Intensivstation, 21 Betten
- Konservativer Behandlungsschwerpunkt: Lungenversagen, inklusive ECMO-Therapie

Forschungsschwerpunkte: EIT der Lunge, Einsatz von Immunglobulinen bei Sepsis durch Peritonitis, Einsatz von therapeutischen Kommunikationsmethoden zur postoperativen Schmerztherapie.

Das Universitätsklinikum Knappschaftskrankenhaus Bochum verfügt seit Dezember 2015 über das PulmoVista® 500. Das Gerät wird folglich seit über einem Jahr regelmäßig in der täglichen klinischen Routine eingesetzt. Zahlreiche Untersuchungen wurden durchgeführt und teilweise mit den aktuell gültigen Standard-Diagnoseverfahren wie Computer-tomografie und Sonografie verglichen, sodass es viele klinische Fallbeispiele mit entsprechendem morphologischem Korrelat gibt.

AUTORENHINWEIS

Dr. Oliver Wendt

Mehrjährige klinische Tätigkeit an der Charité Berlin mit Schwerpunkt in der bildgebenden MRT-Diagnostik.

Seit der Einführung von PulmoVista® 500 intensive EIT-Applikationsbetreuung im klinischen Umfeld.

Derzeit in der Dräger Medical Deutschland GmbH als Applikationsspezialist und Manager für kundenspezifische Lösungen im regionalen Marketing tätig.

UNTERNEHMENSZENTRALE

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

www.draeger.com

Hersteller:

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

Ihren Ansprechpartner vor
Ort finden Sie unter:
www.draeger.com/kontakt



DEUTSCHLAND

Dräger Medical
Deutschland GmbH
Moislinger Allee 53–55
23558 Lübeck
Tel 0800 882 882 0
Fax 0451 882 720 02
dsc@draeger.com

ÖSTERREICH

Dräger Austria GmbH
Perfektastraße 67
1230 Wien
Tel +43 1 609 04 0
Fax +43 1 699 45 97
office.austria@draeger.com

SCHWEIZ

Dräger Schweiz AG
Waldeggstrasse 30
3097 Liebefeld
Tel +41 58 748 74 74
Fax +41 58 748 74 01
info.ch@draeger.com