Revijalni članak

Review article

ELEKTRIČNA IMPEDANSNA TOMOGRAFIJA: NOVI MONITORING REGIONALNE DISTRIBUCIJE VENTILACIJE PLUĆA (Princip rada i klinička primena)Rade Vuković¹, Vojislava Nešković¹¹Klinika za anesteziologiju i intenzivnu terapiju, Vojnomedicinska Akademija, Beograd, Srbija**ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY: A NEW MONITORING OF REGIONAL DISTRIBUTION OF LUNG VENTILATION (principle of work and clinical application)**Rade Vuković¹, Vojislava Nešković¹¹Clinic for Anesthesiology and Critical Care, Military Medical Academy, Belgrade, Serbia**Sažetak**

Električna impedansna tomografija (EIT) je ubrzo posle otkrića, osamdesetih godina prošlog veka, postala predmet interesovanja u medicini, pre svega zbog mogućnosti primene ove tehnologije u dijagnostici i monitoringu fizioloških funkcija. EIT je neinvazivna procedura, bez dodatnog štetnog zračenja. Podrazumeva monitoring regionalne distribucije ventilacije kontinuirano. Navedena karakteristika je i osnovna razlika između EIT i kompjuterizovane tomografije i drugih dijagnostičkih procedura, koje omogućavaju prikaz respiratornog sistema i njegove funkcije samo u trenutku snimanja (jednokratno). Pored toga, EIT omogućava kontinuiranu vizuelizaciju funkcije pluća pored pacijenta, što omogućava odmah dostupnu procenu efekata respiratornih terapijskih manevara. Rezultati dobijeni EIT-om su komplementarni sa rezultatima svih ostalih plućnih dijagnostičkih procedura, pre svega radioloških. U suštini, EIT upotpunjuje konvencionalni plućni monitoring. Određivanje idealnog alveolarnog rekrutmenta, koji održava otvorenim i funkcionalnim alveole tokom ventilacije, nosi minimalan rizik za leziju pluća prekomernim disajnim volumenom ("overdistension"), i smatra se ključnim za izvođenje koncepta protektivne ventilacije pluća ("lung protective ventilation"). U takvom kliničkom kontekstu, EIT se može koristiti kao dobar vodič za optimalno podešavanje parametara respiratorne podrške i načina ventilacije. Danas, sa tehničkim i tehnološkim razvojem, usavršavanjem hardvera i softvera EIT i eksperimentalnom validacijom rezultata na životinjama i na volonterima, omogućena je praktična klinička primena ove tehnologije u monitoringu regionalne plućne funkcije.

Ključne reči: Mehanička ventilacija, Električna impedansa, Tomografija; Ventilacija pluća

Abstract

Soon after it's discovery in the 1980s, the Electrical Impedance Tomography (EIT), became the topic of interest, primarily regarding its applicability in different diagnostic procedures and monitoring.

EIT is a non-invasive procedure, with no additional harmful radiation, which can be used continuously to monitor regional distribution of ventilation, in contrast to the computerized tomography and other diagnostic procedures that have a single image of the respiratory system and its function. Additionally, EIT allows continuous visualization of the lung function at the patient bedside, with an immediate assessment of the respiratory therapeutic maneuvers effects. The results obtained by EIT are complementary to other pulmonary diagnostic procedures, primarily from radiology. In general, EIT provides additional information to the conventional pulmonary monitoring. Crucial to the implementation of lung protective ventilation concept is to determine the ideal alveolar recruitment, which maintains open and functional alveoli during ventilation, meanwhile carrying a minimal risk for lung injury with excessive breathing volume ("overdistension"). EIT may be considered as a good guide for optimal adjustment of respiratory support parameters and selection of the ventilation mode. Nowadays, the technical and technological development, hardware and software improvements and experimental validation of the results in animals and volunteers, have enabled practical clinical use of EIT, a useful monitor of regional distribution of lungs ventilation.

Keywords: Mechanical ventilation; Electrical impedance; Tomography; Ventilation, Lungs

Uvod

Prvi uređaj zasnovan na Električnoj impedansnoj tomografiji (EIT) osmislili su Barber i Braun 1980. Godine 5. Danas, EIT se u medicini najčešće koristi za procenu regionalne plućne funkcije, gastričnog pražnjenja, euvolemijske težine kod dijaliznih pacijenata i monitoring funkcije mozga.³

Posle 20 godina proučavanja i usavršavanja, zbog svoje neinvazivnosti, odsustva jonizujućeg zračenja i mogućnosti kontinuiranog praćenja (dinamička slika), EIT počinje da se primenjuje kao monitor plućne funkcije.^{1,2}

Prvi aparati, tehnički limitirani i komplikovani za primenu, onemogućavali su rutinsku primenu EIT. Međutim, od 1999. godine, sa prvim digitalnim prototipom, beleže se stalni pomaci i poboljšanja u funkciji aparata. Napredak je zabeležen i u hardverskom (pojas sa elektrodama koji olakšava i ubrzava postavljanje elektroda na pacijenta) i u softverskom delu (povećana senzitivnost merenja). Saradnja sa industrijom, pre svega sa liderima u proizvodnji aparata za mehaničku ventilaciju, dodatno je ubrzala proces razvoja ove tehnologije.^{1,2}

Eksperimentalna potvrda rezultata na životinjama i dobrovoljcima i razmena prvih kliničkih iskustava, koja su unapredila nove generacije uređaja, omogućila je kliničku implementaciju EIT, posebno kod bolesnika koji se mehanički ventiliraju.

Princip rada uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća:

Uređaj pruža kontinuiranu, dinamičku sliku funkcije pluća u jednom poprečnom preseku, što obezbeđuje dodatne informacije u odnosu na konvencionalni monitoring.⁴ Kontakt sa pacijentom se ostvaruje preko pojasa koji sadrži 16 elektroda. Pojas se postavlja u nivou petog međurebarnog prostora grudnog koša (Slika 1.)

Sliku regionalne distribucije uređaj rekonstruiše na osnovu prepoznavanja i praćenja distribucije biimpedance unutar grudnog koša.⁵

Rekonstrukcija slike se vrši prema algoritmu koji su opisali Barber i Braun i sličan je algoritmu kompjuterizovane tomografije (CT - jedan rekonstruisani poprečni presek).

Primenom Omovog zakona, sa poznatim karakteristikama struje koja se aplicira na prvom paru elektroda i merenjem površinskog potencijala (napona) na ostalim elektrodnim parovima (sa

pojasa sa elektrodama), izračunava se biimpedanca unutar grudnog koša.

Slika 1. Generisanje bioimpedansnog signala – pojas sa 16 elektroda kojim se ostvaruje kontakt sa pacijentom

©Drägerwerk AG&Co.KGaA, Lubeck. All rights reserved. No portion hereof may be reproduced, saved or stored in data processing system, electronically or mechanically copied or otherwise recorded by any other means without our express prior written permission.

Lokacija izmerenog napona na elektrodnim parovima se rotira oko grudnog koša. Jednom rotacijom dobija se napon sa 16 elektrodnih pozicija. Na svakoj poziciji se meri po 13 vrednosti napona. Dakle, tokom rotacija ukupno se dolazi do 208 merenja napona i isto toliko izračunatih vrednosti bioimpedance, na osnovu kojih se rekonstruiše slika jednog poprečnog preseka, odnosno, EIT slika grudnog koša i plućne funkcije (Slika 2.).

Mesta u grudnom košu sa istim potencijalom su povezana linijama koje se zovu izopotencijalne linije. Promena potencijala u određenoj zoni se registruje u svih 16 elektroda i reprodukuje se u narednoj EIT slici.⁵

Razlike u bioelektričnim svojstvima plućnog tkiva predstavljaju osnovu za nastanak EIT slike, tako da regioni pluća sa većom vazdušnošću imaju veću bioimpedansu i posebno se vizualizuju na EIT slici.⁵

Na bioimpedancu utiču i ekstravaskularna tečnost u torakalnoj duplji, kao i otpornost na spoju koža-elektroda.^{5,6}

Tokom rekonstrukcije slike, artefakti su česti (na pr. izazvani srčanom aktivnošću) i otklanjaju se filterom koji je sastavni deo uređaja.⁵

Važno je napomenuti da se uređajem dobija samo jedan poprečni presek kroz grudni koš i neposredni podaci o respiratornoj funkciji i parametrima odnose se samo na taj segment. Mapiranje složene tro-dimenzionalne morfološke i funkcionalne strukture respiratornog sistema nastaje softverskom obradom dvodimenzionalnog šablona u aparatu. ⁵

Slike dobijene ovim uređajem imaju rezoluciju 32x32 piksela što je neuporedivo manje od rezolucije CT-a, koja je čak 256 puta bolja. Međutim, u kliničkoj praksi, EIT bi trebalo da bude dobar vodič za određivanje optimalne respiratorne terapije i distribucije ventilacije, tako da bolja prostorna rezolucija ne može značajno da utiče na ciljeve korišćenja aparata.

Slika 2. Uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća: elektroda registruje električne potencijale u grudnom košu koji se reprodukuju kao EIT slika. Projekcija slike je od kaudalnog ka kranijalnom delu, tako da leva projekcija slike na ekranu pokazuje desnu stranu pacijenta. Gornji deo slike poprečnog preseka predstavlja ventralni deo grudnog koša.

©Drägerwerk AG&Co.KGaA, Lubeck. All rights reserved. No portion hereof may be reproduced, saved or stored in data processing system, electronically or mechanically copied or otherwise recorded by any other means without our express prior written permission.

Kliničke informacije dobijene uređajem za praćenje dinamičke funkcije pluća:

Uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća kontinuirano prikazuje relativnu promenu impedance u grudnom košu koja nastaje tokom ven-

tilacije (inspirijuma i ekspirijuma), što znači da se na ovaj način generiše grafička informacija o regionalnoj distribuciji ventilacije i promenama disajnog volumena. Parametri koji se dobijaju na ovaj način mogu da se prate tokom vremena, tako da je moguće dobiti *trend promena* distribucije ventilacije. ⁵

U svakoj sekundi generiše se 50 EIT slika, što omogućava dobar uvid u regionalnu plućnu ventilaciju i pri većim respiratornim frekvencama ¹.

Promena impedance može da se registruje posle svakog disajnog ciklusa i tako dobijena slika se zove "tidal" slika. Takođe, uređaj može da prati promene impedance u minuti i tako nastala slika se zove "minutna" slika. Minutna slika je idealna za procenu regionalne distribucije ventilacije kod promena tidal volumena ili nekog drugog parametra minutne ventilacije ¹.

Distribucija ventilacije se analizira kroz regione pluća koji su uobičajeno predstavljeni kao horizontalni slojevi (ventralni ka dorzalnim) ili kvadranti (ROI – Region of interest) (Slika 3.). ⁵ Promena impedance se na osnovu varijacije krive posebno izračunava za svaki region i na osnovu nje izračunava se procenat zastupljenosti ventilacije u svakom od njih.

Slika 3. Prikaz distribucije ventilacije: A- Dinamička slika ventilacije (distribucija ventilacije tokom vremena); B – Statička slika respiracije: globalna slika ventilacije raspoređena prema regionima interesa (ROI). Na slici su ROI prikazani kao kvadranti; C – referentna slika, prema kojoj se tumače promene u distribuciji ventilacije; D - kriva varijacije impedance, globalna i po regionima. Obeleženi žuto su procenti distribucije ventilacije (%) prema ROI.

Dinamički podaci, statičke i numeričke vrednosti koje se odnose na ventilaciju očitavaju se sa ekrana.

Dinamička slika prikazuje promenu impedance i distribuciju ventilacije tokom vremena. Statička slika predstavlja globalnu impedancu i regionalne impedance za četiri regiona koji se prate. Numeričke vrednosti prikazuju globalni tidal volumen i zastupljenost ventilacije po regionima (prikazane četiri vrednosti po regionima čine zbir od 100% globalne ventilacije). (Slika 3)

Poređenjem regionalne distribucije ventilacije u dva različita vremena (upoređujući slike - "status image"), koji su snimljeni pre i posle promene ventilacionih parametara, može se doneti zaključak o njihovim efektima na plućnu ventilaciju. 2

Jedan od osnovnih parametara čija se promena može pratiti na ovaj način je promena plućne impedance na kraju ekspirijuma (end-ekspiratorna plućna impedansa). 6. End-ekspiratorna plućna impedansa se može meriti na nivou celih pluća ili po regionima. Ponovo, sva odstupanja impedance po regionima moraju dati ukupan zbir globalnog odstupanja. Postoji korelacija između promene end-ekspi-

ratorne plućne impedanse i promene disajnog (tidal) volumena. (6): što je merena i računata promena end-ekspiratorne plućne impedance veća, proporcionalno je veći i disajni volumen za posmatrani region (Slika 4.). Merenje i analiza ovog parametra pogodna je za praćenje efekata rekrutmenta i derekrutmenta pluća, kako globalno tako i po regionima 1 2 3

Klinička primena uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća:

Jedan od najznačajnijih razloga za primenu uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća predstavlja mogućnost analize efekata zadatih parametara ventilacije, rekrutment manevra (RM) i određivanja idealnog pozitivnog pritiska na kraju ekspirijuma (PEEP) tokom mehaničke ventilacije. 1 2

Smatra se da idealan PEEP (pozitivni end-ekspirijumski pritisak) sprečava kolaps alveola i nastanak atelektaza, a smanjuje rizik od oštećenja pluća (ventilator induced lung injury - VILI) koje nastaju pri visokim vrednostima intrapulmonalnog pritiska. 12

Slika 4. Promena plućne impedance na kraju ekspirijuma (End-ekspiratorna plućna impedansa - $\Delta EELI$) - prikazana globalno i prema regionima od interesa (Region of interest-ROI). Žuto je obeležena globalna promena $\Delta EELI$; A- $\Delta EELI$ pre rekrutmenta, B - Promene $\Delta EELI$ tokom primene rekrutment manevra i pozitivnog pritiska. C - $\Delta EELI$ posle rekrutment manevra. Povećanje $\Delta EELI$ posle intervencije ukazuje na povećanje volumena pluća na kraju ekspirijuma (otvaranje alveola). Promene prema ROI ukazuju na distribuciju promene ventilacije i efekte rekrutmenta u plućima (na slici ROI 2 ima najveću promenu $\Delta EELI$ - 0,53)

Međutim, još uvek ne postoji konsenzus o načinu određivanja idealne vrednosti PEEP-a.¹² Jedan od načina je izvođenje rekrutment manevra povećanjem PEEP-a dok komplijansa pluća raste, sve do momenta registrovanja njenog pada (prekomerna distenzija pluća - "overdistension"). Vrednosti PEEP-a se zatim smanjuju (derekrutment), tokom čega komplijansa ponovo raste (nestaje preterana distenzija pluća), koju prati kolaps plućnih alveola i novi pad komplijanse (staircase recruitment). Vrednost, gde dolazi do pada komplijanse prilikom derekrutmenta, uvećana za 2 cm H₂O se smatra idealnim PEEP-om ⁵.

Čitav postupak izmene vrednosti PEEP-a može da se prati uređajem za praćenje dinamičke funkcije pluća, tako da se efekti intervencije mogu vizuelizovati i proceniti koja vrednost obezbeđuje najbolju distribuciju ventilacije (idealni PEEP).

Na sličan način može da se analizira uspešnost rekrutment manevra. (Slika 5.).

Kada se prate promene distribucije disajnog volumena prilikom povećanja PEEP-a ili prome-

na parametara ventilacije, pored kolapsa pluća i smanjene ventilacije, moguće je vizuelizovati i prekomernu distenziju plućnog parenhima ("overdistension"), sa redukcijom komplijanse i smanjenje ventilacije, pre svega u ventralnim delovima ¹⁴.

Ukratko, kod primene mehaničke ventilacije, jedan od osnovnih ciljeva je obezbeđivanje homogene distribucije gasa u plućima. Primenom uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća vizuelizacijom regionalne distribucije ventilacije i promena plućnih volumena moguće je pratiti efekte mehaničke ventilacije i respiratornih intervencija koje se primenjuju. ¹¹ (Slike 6. i 7.)

Pored navedenih indikacija za primenu, u literaturi postoje podaci o opravdanosti korišćenja EIT za određivanje optimalnog položaja tela kod nejednake ventilacije oba plućna krila, za potvrdu pravilnog pozicioniranja dvolumenskog tubusa, detekciju pneumotoraksa, plućnog edema i postojanja tečnosti u pleuri.

Slika 5. Rekrutment manevar kod pacijentana mehaničkoj ventilaciji u ležećom položaju. A - distribucija tidal volumena pre rekrutment manevra; B - distribucija tidal volumena posle rekrutmenta. Uočava se distribucija ventilacije u dorzalnim delovima pluća posle rekrutmentna (nestanak atelektaza); C - polje označeno tirkiznom bojom označava poboljšanu ventilaciju rekrutmentom; polje označeno narandžastom bojom označava je pogoršanu ventilaciju (prekomernu distenziju). Zaključak: rekrutmet manevrom je poboljšana ventilacija u dorzalnim segmentima pluća.

Slika 6. Smanjenje PEEP-a sa 14 na 12 cm H_2O ne dovodi do promena u distribuciji tidal volumena. A - slika prikazuje distribuciju tidal volumena pre smanjenja PEEP-a (14 cm H_2O); B - slika prikazuje distribuciju tidal volumena posle smanjenja PEEP-a (12 cm H_2O). Na slikama se ne uočava se promena u distribuciji ventilacije

©Dragerwerk AG&Co.KGaA, Lubeck. All rights reserved. No portion hereof may be reproduced, saved or stored in data processing system, electronically or mechanically copied or otherwise recorded by any other means without our express prior written permission.

Slika 7. Smanjenje PEEP-a sa 14 na 10 cm H_2O dovodi do smanjenja ventilacije u dorzalnim delovima pluća. A - slika prikazuje distribuciju tidal volumena pre smanjenja PEEP-a (14 cm H_2O); B - slika prikazuje distribuciju tidal volumena posle smanjenja PEEP-a (10 cm H_2O)

©Dragerwerk AG&Co.KGaA, Lubeck. All rights reserved. No portion hereof may be reproduced, saved or stored in data processing system, electronically or mechanically copied or otherwise recorded by any other means without our express prior written permission.

Indikacije i kontraindikacije za primenu uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća:

Najčešća primena uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća je u jedinici intenzivnog lečenja. Primenuje se kod pacijenata na mehaničkoj ventilaciji, kod onih koji se ventiliraju na masku ili sa spontanom disanjem. Primena je moguća kod odraslih, dece i neonatusa. 5

Iako se snimanje najčešće obavlja u ležećem položaju na leđima, pacijent može zauzimati ležeći položaj i na boku ili stomaku. Snimanje se može obavljati u stojećem ili sedećem položaju. 5 Neophodno je odsustvo prekomernog kretanja tela prilikom snimanja. 5

Za ispitivanje respiratornog sistema CT se smatra suverenom dijagnostičkom metodom. 14. Međutim, u odnosu na CT, EIT ima određene prednosti: 1 2

Odsustvo jonizujućeg zračenja
 Mogućnost snimanja u bolesničkoj sobi
 Portabilnost aparata
 Praćanje dinamičkih promena u plućima
 Kontinuirano praćenje u dužem vremenskom intervalu
 Odsustvo neželjenih dejstava
Uređaj za praćenje dinamičke funkcije pluća ne bi trebalo da se primenjuje:
 Kada pozicija pojasa sa elektrodama može predstavljati rizik za pacijenta (npr. nestabilna povreda kičme)
 Kada postoji slab prenos signala, (veliki plućni ili tkivni edem)
 Kod gojaznih (BMI veći od 50)
 Kada iz bilo kog razloga ne može da se spreči kretanje tela
 Kada su prisutni zavoji u regionu postavljanja pojasa
 Kod prisustva pejsmejke ili kardioverter defibrilatora
 Kod postojanja promena na koži u predelu gde se postavlja pojas

U studijama na životinjama započetim još 1993. godine, potvrđena je korelacija između rezultata dobijenih primenom EIT u odnosu na CT, posebno kod kritično obolelih pacijenata. Takođe, utvrđeno je da na rezultate ne utiče promena modova ventilacije, razlike u spontanom disanju, ili povreda pluća i promena komplijanse. 14 Zbog ograničene prostorne rezolucije EIT-a, korelacija sa CT-om postoji samo kod snimanja većeg plućnog regiona. 14

Pokazano je da je EIT pogodna za praćenje efekata različitih vrednosti PEEP-a na regionalne promene disajnog volumena, kao i za procenu efekata parametara ventilacije, uopšte ili tokom rekrutmenta, kao i za detekciju kolapsa pluća. 15

Studija Hinca i sar. iz 2003. godine 15, 16 pokazala je značajnu korelaciju promena plućnog volumena i promena end-ekspiratorne plućne impedanse. Takođe, pokazan je značaj EIT za određivanje idealnog PEEP-a, koji sam po sebi utiče na smanjenje broja atelektaza i hiperinflacije kod mehaničke ventilacije. 1. Zbog povišenog intrabdominalnog pritiska kod insuflacije gasa, gojaznosti i položaja pacijenta na stolu, primena EIT ukazala je na poseban značaj koji ima određivanje idealnog PEEP-a u toku laparoskopskih operacija. 17.

Međutim, u studiji iz 2009 Bejkera i sar. utvrđeno je da odnos između globalne varijacije impedanse i disajnog volumena nije linearan, zbog čega promena end-ekspiratorne plućne impedanse ne može da bude linearni surogat za procenu endekspiratornog plućnog volumena. Studija Karstena i sar. 19 je kod 54 kardiohirurških pacijenata u postoperativnom toku potvrdila da korelacija između promene endekspiratorne plućne impedanse i promene endekspiratornog plućnog volumena nije klinički prihvatljiva. Kao i kod svakog monitora, i kod EIT interpretacija podataka i trend promena su verovatno značajniji od apsolutno izmerenih vrednosti.

Primenom EIT kod pacijenata sa akutnim respiratornim distres sindromom (ARDS) kod kojih su primenjivani različiti modovi ventilacije i vrednosti PEEP-a, utvrđeno je da na redistribuciju disajnog volumena iz nezavisnih u zavisne plućne regione i povećanje anteroposteriorne plućne homogenosti pozitivno utiču niže vrednosti pritisaka porške (pressure support) koje su udružene sa višim vrednostima PEEP-a. 1 2

EIT u funkciji procene efekata rekrutment manevara

Rekrutment manevra (RM) predstavlja tranzitorno povećanje pritiska u disajnim putevima, koji može da reekspandira kolabirane alveole, poveća površinu pluća dostupnu za gasnu razmenu i dovede do bolje oksigenacije. 14. Rekrutment manevra se koristi da bi se otvorili kolabirani delovi pluća, a zatim se upotrebom odgovarajućeg PEEP-a sprečava njihov ciklični kolaps pri svakoj respiraciji. 23. Ovakvom strategijom dolazi do povećanja funkcionalnog rezidualnog kapaciteta pluća (FRC), poboljšava se gasna razmena i smanjuje mogućnost nastanka ventilacijom izazvane povrede pluća (VILI). 1.

Efekat rekrutment manevara može se pratiti i CT-om i EIT-om. Jedna od studija gde su efekti ventilacije praćeni CT-om bila je studija Gatinoni i sar. 2006. gde je pokazana velika individualna razlika u postizanju dodatnog plućnog volumena kod pacijenata ventiliranih visokim pritiskom. 21. Takođe, Lovhagen i saradnici koji su EIT monitoringom pratili odnos pritiska i volumena tokom rekrutment manevara (korišćen pritisak od 40 cm vodenog stuba) pokazali su da samo pacijenti sa visokim procentom rekrutmentabilnih (kolabiranih) pluća ostvaruju benefit visokim PEEP-om tokom ventilacije. 1

EIT u spontanom disanju

EIT monitoringom efekata spontanog disanja na distribuciju ventilacije pokazano je da se mehaničkom ventilacijom bolje ventiliraju ventralni delovi pluća, dok spontano disanje ima pozitivne efekte na ventilaciju dorzalnih regiona. 1

EIT i endotrahealna sukcija

EIT je pokazala da promena endotrahealne sukcije može da dovede do derekrutmenta i time dodatno kompromituje disanje. 23

Zatvorena endotrahealna sukcija za posledicu ima manji gubitak plućnog volumena i sporiji oporavak, dok otvorena endotrahealna sukcija dovodi do većeg gubitka plućnog volumena, ali bržeg oporavka i vraćanja respiratornih parametara na početne vrednosti pre sukcije koji su praćeni EIT-om. 1

EIT i protektivna plućna ventilacija

Više studija je pokazalo da EIT obezbeđuje značajne podatke vezane za optimizaciju ventilacije kod primene koncepta protektivne ventilacije pluća ("lung protective ventilation").

Volf i saradnici su odredili algoritam kojim je moguće eliminisati atelektaze u dorzalnim delovima pluća kod primene manjih disajnih volumena. 29. Podizanjem PEEP-a za po 5 cm H₂O eliminišu se atelektaze u u dorzalnim delovima što se potvrđuje EIT-om. Zatim se PEEP smanjuje za po 2 cm H₂O, čime se u ventralnim delovima smanjuje prekomerna distenzija, dok se istovremeno prati komplijansa u dorzalnim regionima 1.

Odredjivanje optimalnog PEEP-a za idealnu distribuciju ventilacije praćeno je EIT-om kod 10 zdravih ispitanika uvedenih u anesteziju i ventiliranih uz primenu različitih vrednosti PEEP-a (0 do 28 mbar). Pokazano je da je distribucija ventilacije bila najhomogenija pri pritisku od 14 mbar 23.

Jasno je da zahvaljujući mogućnostima vizualizacije distribucije ventilacije, EIT postaje značajno sredstvo u kliničkim istraživanjima, koja se bave efektima mehaničke ventilacije na plućnu funkciju i njen uticaj na ishod lečenja bolesnika kojima je potrebna respiratorna podrška.

Zaključak

Električna impedansna tomografija može da se primenjuje kao jedan od monitora respiratorne funkcije. Najčešća primena uređaja za praćenje dinamičke funkcije pluća je u jedinicama intenzivnog lečenja, kod pacijenata na mehaničkoj ventilaciji, gde je analiza efekata rekrutment manevra (RM) i određivanje idealnog pozitivnog pritiska na kraju ekspirijuma (PEEP) izuzetno značajna, posebno u svetlu primene koncepta protektivne ventilacije pluća sa malim disajnim volumenima. Vizuelizacija efekata ventilacije, kao i primenjenih terapijskih postupaka, primenom ove tehnologije mogla bi da obezbedi dodatne informacije o optimalnom lečenju različitih populacija bolesnika koji zahtevaju respiratornu podršku.

Literatura:

1. Leonhardt S, Lachmann B Electrical Impedance Tomography: The Holy Grail of ventilation and Perfusion Monitoring Intensive Care Med 2012 ; 38(12); 1917-29
2. Adler A et al. Whither lung EIT: Where are we, where do we want to go and what do we need to get there? Physiol Meas. 2012; 33(5):679-94
3. Frerichs I, Weiler N Electrical impedance tomography: The next game level Crit Care Med. 2012;40(3):1015-6
4. Arnold JH Electrical impedance tomography: On the path to the Holy Grail Crit Care Med 2004 Vol. 32, No. 3:894- 895
5. Teschner E, Imhoff M, Leonhardt S, Electrical Impedance Tomography: The realisation of regional ventilation monitoring Med 2014 ; 6(2) 18-138
6. Moerer O, Hahn G, Quintel M Lung impedance measurements to monitor alveolar ventilation Curr Opin Crit Care. 2011;17(3):260-7
7. Bodenstern M, David M, Markstaller K Principles of electrical impedance tomography and its clinical application. Crit Care Med. 2009; 25(2); 131-37
8. Luecke T, Corradi F, Pelosi P Lung imaging for titration of mechanical ventilation. Current Opinion 2012; 25(2); 131-40
9. Pulletz S et al. Dynamics of regional lung aeration determined by electrical impedance tomography in patients with acute respiratory distress syndrome Multidisciplinary respiratory medicine 2012 ; 7(1); 44-49
10. Vogt B et al. Spatial and temporal heterogeneity of regional lung ventilation determined by electrical impedance tomography during pulmonary function testing. J Appl Physiol 2012 ; 113; 1154-61
11. Victorino J et al. Imbalances in Regional Lung Ventilation: A Validation Study on Electrical Impedance Tomography. Am J Respir Crit Care Med. 2004; 1;169(7):791-800.
12. Blankman P, Gommers D Lung monitoring at the bedside in mechanically ventilated patients. Curr Opin Crit Care. 2012; 18(3); 261-66

13. Canet J, Gallart L The Dark Side of the Lung. Unveiling Regional Lung Ventilation with Electrical Impedance Tomography *Anesthesiology* 2012 ; 116(6); 1186-88
14. Muders T et al. Tidal recruitment assessed by electrical impedance tomography and computed tomography in a porcine model of lung injury. *Crit Care Med.* 2012 ;40(3):903-11
15. Hinz J et al. Regional Ventilation by Electrical Impedance Tomography: A Comparison With Ventilation Scintigraphy in Pigs. *Chest.* 2003;124(1):314-22
16. Hinz J et al. End-expiratory lung impedance change enables bedside monitoring of end-expiratory lung volume change. *Intensive Care Med.* 2003; 29(1):37- 43
17. Hinz J et al. Effect of positive end-expiratory-pressure on regional ventilation in patients with acute lung injury evaluated by electrical impedance tomography. *Eur J Anaesthesiol* 2005;22(11): 817-25
18. Karsten J et al. Effect of PEEP on regional ventilation during laparoscopic surgery monitored by electrical impedance tomography *Acta Anaesthesiol Scand.* 2011; 55(7):878-86
19. Karsten J et al. Bedside-measurements of electrical impedance tomography and functional residual capacity during positioning therapy in a case of acute respiratory failure *Applied Cardiopulmonary Pathophysiology* 2011; 15(2); 81-86
20. Mauri T et al. Topographic Distribution of Tidal Ventilation in Acute Respiratory Distress Syndrome: Effects of Positive End-Expiratory Pressure and Pressure Support, *Crit Care Med.* 2013; 41(7): 1664-73
21. Camporota L et al. Assessment of regional lung mechanics with electrical impedance tomography can determine the requirement for ECMO in patients with ARDS *Intensive Care Med.* 2012; 38(12); 2086-87
22. Muders T et al. Tidal recruitment assessed by electrical impedance tomography and computed tomography in a porcine model of lung injury. *Crit Care Med.* 2012 ;40(3):903-11
23. Zhao Z et al. PEEP titration guided by ventilation homogeneity: a feasibility study using electrical impedance tomography. *Crit Care* 2010; 14(1):R8
24. Richard JC et al. Electrical impedance tomography compared to positron emission tomography for the measurement of regional lung ventilation: an experimental study. *Crit Care Med* 2009; 13(3); R82
25. Gómez-Laberge, Camille et al. A Unified Approach for EIT Imaging of Regional Overdistension and Atelectasis in Acute Lung Injury. *Medical Imaging* 2012; 31(3); 834-42
26. Lowhagen K et al. Prolonged moderate pressure recruitment manoeuvres results in lower optimal positive end-expiratory pressure and plateau pressure. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2011; 55(2):175-84
27. Radke O et al. Spontaneous Breathing During General Anesthesia Prevents the Ventral Redistribution of Ventilation as Detected by Electrical Impedance Tomography *Anesthesiology* 2012; 116(6); 1227-34
28. Lindgren S et al. Regional lung derecruitment after endotracheal suction during volume – or pressure-controlled ventilation: a study using electrical impedance tomography. *Intensive Care Med.* 2007; 33(1):172-80
29. Wolf G et al. Mechanical Ventilation Guided by Electrical Impedance Tomography Experimental Acute Lung Injury *Crit Care Med.* 2013; 41(5); 1296-1304