

# ELEKTRIČNA IMPEDANCIJSKA TOMOGRAFIJA – OSVRT NA TEHNOLOGIJU I KLINIČKU PRIMJENU UZ PRIKAZ BOLESNIKA

ANDREJ ŠRIBAR, JASMINKA PERŠEC, DANICA BOŠNJAK, LJILJANA VUKOVIĆ,  
NIKOLA BRADIĆ i VLASTA KLARIĆ

*Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Klinička bolnica Dubrava, Klinika za anesteziologiju, reanimatologiju i intenzivnu medicinu, Zagreb, Hrvatska*

Električna impedancijska tomografija (EIT) je neinvazivna metoda praćenja koja se u prvom redu koristi za procjenu regionalne distribucije ventilacije u plućima, ali je dokumentirana i druga uporaba (kao što je procjena distribucije perfuzije). Temelji se na fizikalnom principu razlike u impedancijama različitih tkiva ili razlika u prozračenosti plućnog tkiva. Tomogram se zatim dinamički generira pomoću računalnog softvera i slikovno prikazuje. Klinički je prihvatljiva korelacija između EIT i kompjuterizirane tomografije (engl. *computed tomography* - CT) za procjenu reverzibilnog alveolarnog kolapsa, što čini EIT vrijednim dijagnostičkim sredstvom za prilagođavanje postavki mehaničke ventilacije i regrutiranje alveola kod bolesnika s akutnim respiratornim distres sindromom (engl. *acute respiratory distress syndrome* – ARDS).

Prikazujemo bolesnika primljenog u jedinicu intenzivne medicine (JIM) zbog ARDS-a koji je izazvan intraoperacijskom aspiracijom želučanog sadržaja. Nakon započinjanja mehaničke ventilacije i bronhoskopske lavaže, uz pomoć EIT provedeno je određivanje razine pozitivnog tlaka na kraju ekspirija (engl. *positive end expiratory pressure* – PEEP) potrebne da se izbjegne alveolarna predistendiranost ili kolaps. PEEP vrijednost od 14 mbara utvrđena je kao najniža razina PEEP iznad alveolarnog kolapsa. Plinske analize arterijske krvi nakon određivanja navedene razine PEEP pokazale su značajno poboljšanje u odnosu na početne vrijednosti, pa je pacijent sljedeći dan ekstubiran, otpušten iz JIM-a nakon dva dana i iz bolnice 4 dana kasnije bez ikakvih respiratornih komplikacija.

**Ključne riječi:** električna impedancijska tomografija, akutni respiratorni distres sindrom, kompjuterizirana tomografija, mehanička ventilacija, PEEP

**Adresa za dopisivanje:** Andrej Šribar, dr. med.  
Tel: 0959404034  
E-pošta: andrej.sribar@gmail.com

## UVOD

Električna impedancijska tomografija (EIT) neinvazivna je metoda koja koristeći razlike u impedanci različitih tkiva računalnom analizom generira kliničaru razumljiv tomogram (na sličan način kojim kompjuterizirana tomografija (engl. *computed tomography* – CT) koristi razlike između različitih tkiva u apsorpciji X zraka). Iako je u laboratorijskim uvjetima učinjena EIT više različitih organskih sustava (kao npr. lokomotornog sustava), u kliničkoj primjeni (uz krevet bolesnika) zaživjela je EIT torakalnih organa, ponajprije pluća (1). Koristeći fizikalnu činjenicu da je dobro ventilirano pluće značajno više impedance u odnosu na slabo ventilirano (bilo to zbog atelektaza, infiltrata, izljeva ili edema), omogućen je prikaz razlike u stupnju prozračenosti različitih regija pluća. Prikazuju se samo regije gdje postoji dinamička promjena impedancije (tj. regije pluća koje se ventiliraju), stoga se regije vi-

soke impedancije (tj. sadržaja zraka), ali bez promjena tijekom respiracijskog ciklusa (npr. pneumotoraks ili bule) ne prikazuju. Koristeći podatke dobivene uz pomoć EIT olakšano je donošenje kliničkih odluka – podešavanje postavki respiratora sa ciljem izbjegavanja barotraume, volutraume i atelektotraume te provođenje manevara regrutiranja kolabiranih alveola i odluke za neincizijsku drenažu (trahealnu ili bronhoskopom vođenu aspiraciju) dišnih puteva ili torakalnu drenažu. EIT je potvrđena kao jednako pouzdana metoda za procjenu učinka regrutiranja kolabiranih alveola kao i CT prsišta (2). U odnosu na CT prednost EIT je neizlaganje bolesnika ionizirajućem zračenju, izvedivost u jedinici intenzivne medicine, te izbjegavanje transporta bolesnika (pri kojemu tijekom transporta obično dolazi do prebacivanja bolesnika na transportni respirator, kada dolazi do kratkotrajnog odvajanja od respiratora čime se riskira ponovni kolaps alveola zbog izostanka pozitivnog tlaka u dišnim putevima).

Zbog mogućnosti praćenja regionalnih promjena u ventilaciji moguće je generirati regionalne tlačno volumne krivulje te izračunati popustljivost i otpore određenih regija pluća (3), što u kliničkim uvjetima ne bi bilo moguće korištenjem drugih metoda.

Električna impedancijska tomografija uspoređivana je u kliničkim i eksperimentalnim istraživanjima s metodama CT, SPECT, PET, ispiranja inertnih plinova i spirometrijom (1,4,5). Valjanost EIT u usporedbi s navedenim metodama potvrđena je te pokazuje klinički prihvatljivu korelaciju (6).

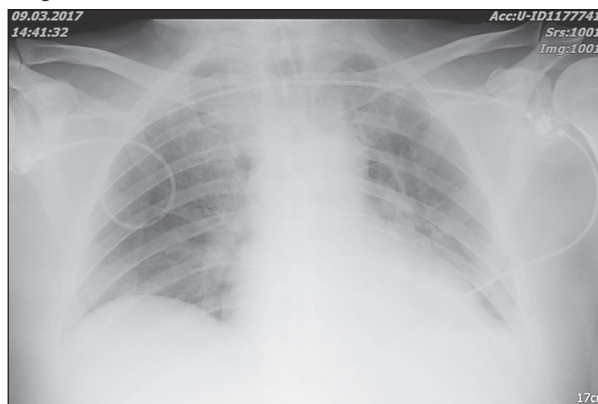
Još jedno potencijalno dijagnostičko područje EIT je regionalna procjena perfuzije torakalnih organa, te omjera ventilacije i perfuzije (tj. objektivizacija udjela mimotoka u plućnoj cirkulaciji) što može imati značenje u dijagnostici plućne embolije uz krevet bolesnika. Da bi se izvela procjena distribucije perfuzije pomoću EIT koriste se pojasni filteri prilagođeni drugim spektrima impedance, te se koristi intravenski bolus 3 % NaCl, koji zbog povećanog broja Na<sup>+</sup> i Cl<sup>-</sup> iona i posljedično povećane provodljivosti perfundiranih regija funkcionira kao svojevrsno kontrastno sredstvo, te se dinamički može prikazati distribucija kontrasta tijekom vremena prolaza kroz desno srce, plućne hiluse, sama pluća te lijevo srce. Da bi se potvrdila vrijednost EIT u procjeni distribucije perfuzije u usporedbi s drugim metodama (kao npr. plućnom angiografijom) potrebno je provesti istraživanja na većem broju bolesnika, no u bolesnika koji nisu pogodni za dijagnostiku drugim metodama (kao npr. trudnice, bolesnici alergični na kontrastna sredstva ili s bubrežnim zatajenjem) mogla bi postati dijagnostička metoda izbora (7).

U Jedinici intenzivne medicine (JIM) Klinike za anesteziologiju, reanimatologiju i intenzivnu medicinu KB Dubrava koristi se aparat Dräger Pulmovista 500 (Dräger, Lübeck, Njemačka) za praćenje regionalne distribucije ventilacije u bolesnika s respiracijskom insuficijencijom ili koji su mehanički ventilirani dulje od 24 h.

## PRIKAZ BOLESNIKA

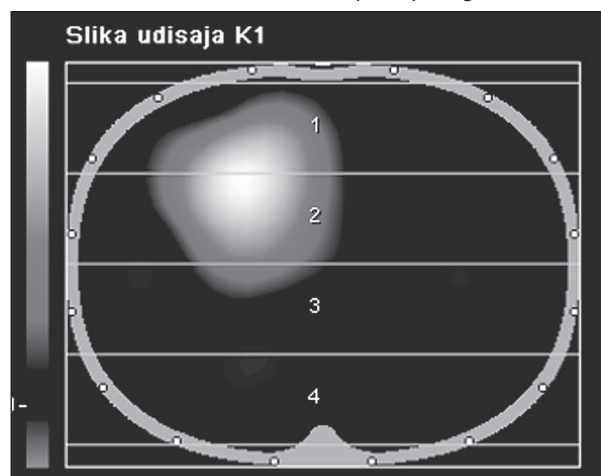
Prikazujemo slučaj bolesnika koji je primljen u Jedinicu intenzivne medicine (JIM) s akutnim respiratornim distres sindromom (ARDS) nakon aspiracije želudčanog sadržaja tijekom transuretralne resekcije tumora mokraćnog mjehura u operacijskoj dvorani. Bolesnik je u JIM primljen sediran, relaksiran i intubiran samoširećim (ambu) balonom. Plinska analiza arterijske krvi (PAAK) uzorkovana neposredno nakon prijma iz arterijske kanile postavljene u lijevu radijalnu arteriju pokazala je vrijednosti pH 7,29, paO<sub>2</sub> 5,97 kPa, pCO<sub>2</sub> 6,24 kPa, saO<sub>2</sub> 75 %. Na rendgenogramu je vidljivo difuzno perihilarno zasjenjenje, više prisutno lijevo (sl. 1). Na-

kon toga započeta je mehanička ventilacija u BIPAP modalitet ventilacije uz PEEP 5 mbar, FiO<sub>2</sub> 0,6, Dp prilagođen da se ostvari Vt 6-7 mL/kgTT. PAAK nakon započinjanja mehaničke ventilacije pokazala je pH 7,33, paO<sub>2</sub> 10,7 kPa, paCO<sub>2</sub> 5,26 kPa, saO<sub>2</sub> 95 %, paO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 133,8 mm Hg. Napravljena je bronhoskopska toaleta i lavaža dišnih puteva. Lokalni nalaz pokazao je izostanak aspiriranog sadržaja te prisustvo nešto sukrvičastog sekreta i sukrvičasta sluznica dušnika i oko karine.

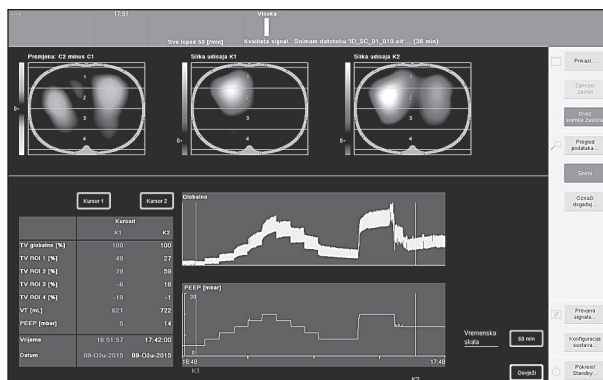


Sl. 1. Rdg bolesnika neposredno nakon prijma u JIM

Bolesniku je postavljen monitor Pulmovista 500 uz postavljanje remena s elektrodama u razini 5 međurebrenog prostora. Prvi nalaz EIT pokazao je izostanak ventilacije lijevog pluća uz postojeće postavke ventilacije (sl. 2) te je donešena odluka o promjeni razine PEEP. Napravljen je stepenasti PEEP test (sl. 3 – prikazana je razlika između distribucije ventilacije na početku i na kraju PEEP testa) gdje se PEEP povećavao u 3 mbar inkrementima do 20 mbar, te je nakon toga smanjivana razina PEEP. Tijekom cijelog postupka bolesniku je invazivno mjereno arterijski tlak te je bolesnik bio hemodinamski stabilan. Nakon smanjenja PEEP sa 14 na 11 mbar bio je vidljiv kolaps obostrano dorzalno (što se manifestiralo obostranim padom impedance/prodisanosti na EIT). Nakon utvrđivanja željenog PEEP od 14

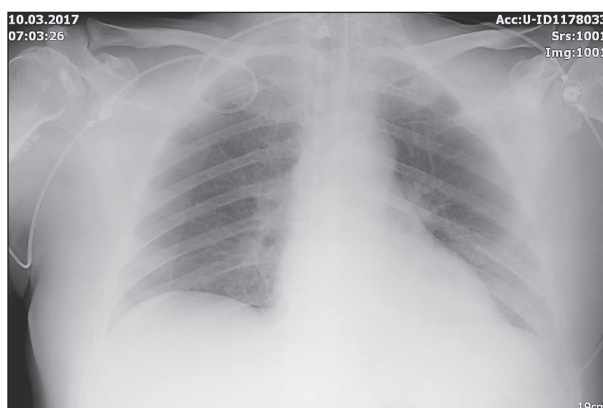


Sl. 2. EIT prikaz regionalne distribucije ventilacije prije PEEP testa



Sl. 3. Prikaz EIT tomograma prije (srednja slika, PEEP 5 mbara) i nakon PEEP testa (desna slika, PEEP 14 mbara). Lijeva slika pokazuje razliku u distribuciji ventilacije između dviju navedenih slika

mbar napravljeno je kratkotrajno regrutiranje alveola uz PEEP 20 te je bolesnik vraćen na 14 mbar PEEP.  $FiO_2$  smanjen je na 0,4. Kontrola PAAK 30 minuta kasnije pokazala je pH 7,33,  $paO_2$  18,15 kPa,  $paCO_2$  4,97 kPa,  $saO_2$  98,6%,  $paO_2/FiO_2$  340,3 mm Hg. Kontrolni rendgenogram pluća napravljen sljedeće jutro pokazao je bolju prozračnost obostrano (sl. 4).



Sl. 4. Kontrolni rdg napravljen jutro nakon PEEP testa

Bolesnik je sljedeći dan ekstubiran u večernjim satima, dan nakon toga otpušten na odjel (gdje je ponovljena PAAK bila uredna), a 4 dana kasnije otpušten je iz bolnice dobrog općeg stanja.

## RASPRAVA

Određivanje vrijednosti pozitivnog tlaka na kraju ekspiririja (engl. *positive end expiratory pressure*, PEEP) koje su sigurne za bolesnika izazov je u liječenju bolesnika s akutnom ozljedom pluća (engl. *acute lung injury*, ALI) ili ARDS. Cilj povisivanja PEEP je održavanje alveola otvorenim tijekom cijelog respiratornog ciklusa, izbjegavanje atelektotraume te poboljšanje oksigenacije bolesnika. Međutim, visoke vrijednosti

PEEP sa sobom nose i određene rizike za bolesnika – kompromitira se priljev krvi u lijevo srce čime se može inducirati hemodinamska nestabilnost (što je posebno evidentno u bolesnika u septičkom šoku) te se može izazvati baro- ili volutrauma pluća.

Najčešće primjenjivana metoda određivanja vrijednosti PEEP sigurne za bolesnika u jedinicama intenzivne medicine je određivanje gornjih i donjih točki infleksije tlačno-volumne krivulje. Dio krivulje između gornje (iznad koje je predistendiranost pluća) i donje točke (ispod koje dolazi do kolapsa alveola u ekspiriju) smatra se optimalnim za ventilaciju bolesnika. Međutim, navedena metoda u obzir uzima pluća kao cjelinu, a u kliničkim scenarijima kao što su ARDS ili pneumonija promjene na plućima, kao i fizikalne karakteristike različitih regija (otpor i popustljivost) su heterogene (8). Kompjuterizirana tomografija pokazala se kao pouzdana metoda procjene distribucije ventilacije u takvih bolesnika (9), no zbog nedostataka koje sa sobom nosi, teže je izvediva u najtežih bolesnika.

Ultrazvučna procjena pluća metoda je koja može adekvatno detektirati kolaps alveola kod smanjivanja vrijednosti PEEP, ali ne može prikazati predistendiranost tijekom povećavanja PEEP (10) te je ovisna o iskustvu i vještini ultrasoničara. Međutim, kao metoda je korisna jer može diferencirati između pneumotoraksa i pleuralnog izljeva, može se procijeniti količina i vrsta pleuralnog izljeva (serom ili hematoma u organizaciji) te prikazati edematozno promijenjena pluća. Važno je napomenuti da jedna metoda ne isključuje drugu, a kako su obje neinvazivne i ne koriste ionizirajuće zračenje preporuča se koristiti obje u JIM.

Nedostatak EIT je dinamički prikaz jednog sloja debljine 5-10 cm zbog čega je teže procijeniti razlike u ventilaciji između kranijalnih i kaudalnih dijelova pluća, no navedeni nedostatak moguće je zaobići pomicanjem remena, ali potrebno je napomenuti da prenik namještaj remena može zahvatiti i ošit, te na taj način može doći do nepreciznosti u izmjeri impedancije i generiranju tomograma. Još jedan nedostatak EIT je ovisnost o dobrom kontaktu elektroda s kožom, što može biti problem kod kirurških bolesnika kojima je napravljena torakotomija ili sternotomija, a kod kojih postoji veći afinitet za nastanak respiracijskih komplikacija. Osim samog mjesta kontakta elektrode, važna je i adekvatna navlaženost kože na mjestu kontakta (kao i kod svih elektroda na površini kože, kao npr. EEG ili EKG).

Električna impedancijska tomografija u slučaju koji smo opisali pokazala se kao sigurna i neinvazivna metoda procjene optimalnih vrijednosti PEEP te izbjegavanja predistendiranosti ventralnih dijelova pluća (što je praćeno tijekom svake faze podizanja vrijednosti

PEEP). Postupak nam je bio dodatno olakšan činjenicom da je bolesnik tijekom cijelog postupka bio hemodinamski stabilan te je (zbog prije izvedenog urološkog postupka) bila provedena obilna nadoknada volumena. Zbog toga je podnio vrijednosti PEEP do 20 mbar bez pada tlaka ili drugih znakova hemodinamske nestabilnosti (varijacija pulsog tlaka tijekom cijelog postupka, čak i na vrijednostima PEEP od 20 mbar bila je <15 %).

S obzirom na neinvazivnost, jednostavnost izvođenja i mogućnost vizualizacije regionalnih promjena na plućima EIT je metoda koja obećava te očekujemo da će vremenom postati jedan od rutinskih modaliteta praćenja bolesnika u jedinicama intenzivne medicine.

## L I T E R A T U R A

1. Frerichs I, Amato MBP, van Kaam AH i sur. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group. *Thorax* 2016; thoraxjnl-2016-208357.
2. Meier T, Luepschen H, Karsten J i sur. Assessment of regional lung recruitment and derecruitment during a PEEP trial based on electrical impedance tomography. *Intensive Care Med* 2008;34(3):543-50.
3. Costa EL, Lima RG, Amato MB. Electrical impedance tomography. *Curr Opin Crit Care* 2009; 15(1): 18-24.
4. Richard J, Pouzot C, Gros A i sur. Electrical impedance tomography compared to positron emission tomography for the measurement of regional lung ventilation: an experimental study. *Crit Care* 2009; 13(3): R82.
5. Hinz J, Neumann P, Dudykevych T i sur. Regional ventilation by electrical impedance tomography: A comparison with ventilation scintigraphy in pigs. *Chest* 2003; 124(1): 314-22.
6. Bellani G, Mauri T, Pesenti A. Imaging in acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *Curr Opin Crit Care* 2012; 18(1): 29-34.
7. Nguyen DT Rang, Thiagalingam A, Bhaskaran A i sur. Electrical impedance tomography for assessing ventilation/perfusion mismatch for pulmonary embolism detection without interruptions in respiration. *Conf Proc Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc IEEE Eng Med Biol Soc Annu Conf* 2014; 2014: 6068-71.
8. Hinz J, Gehoff A, Moerer O i sur. Regional filling characteristics of the lungs in mechanically ventilated patients with acute lung injury. *Eur J Anaesthesiol* 2007; 24(5): 414-24.
9. Gattinoni L, Pelosi P, Crotti S, Valenza F. Effects of positive end-expiratory pressure on regional distribution of tidal volume and recruitment in adult respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151(6): 1807-14.
10. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby JJ. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183(3): 341-7.

## S U M M A R Y

### ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY – CASE REPORT WITH SHORT REVIEW OF TECHNOLOGY AND CLINICAL APPLICATION SCENARIOS

A. ŠRIBAR, J. PERŠEC, D. BOŠNJAK, LJ. VUKOVIĆ, N. BRADIĆ and V. KLARIĆ

*University of Zagreb, School of Dental Medicine, Dubrava University Hospital, Department of Anesthesiology, Resuscitation and Intensive Medicine, Zagreb, Croatia*

Electrical impedance tomography (EIT) is a noninvasive monitoring method which is primarily used to assess regional distribution of ventilation in the lungs, but other uses (such as perfusion mapping) have been documented as well. It works on the physical principle of varying impedance of various tissues or differences in aeration of lung tissue. A tomogram is then dynamically generated by computer software to show regional distribution of ventilation. Clinically agreeable correlation was found between EIT and computed tomography (CT) assessment of recruitable alveolar collapse, which makes EIT a valuable bedside diagnostic tool to aid recruitment maneuvers in patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS). We present a patient with ARDS induced by intraoperative aspiration of gastric contents, who was admitted to the intensive care unit (ICU). After initiation of mechanical ventilation and bronchoscopy guided alveolar lavage, stepwise positive end expiratory pressure (PEEP) trial was performed using EIT to detect alveolar overdistension or collapse. PEEP value of 14 mbar was established as the lowest level of PEEP above alveolar collapse. Arterial blood gas tests after the trial showed marked improvement over baseline values, the patient was extubated on the next day, discharged from the ICU two days later, and discharged from the hospital 4 days later without any respiratory complications.

**Key words:** electrical impedance tomography, acute respiratory distress syndrome, computed tomography, mechanical ventilation, positive end expiratory pressure