PLAUČIŲ FUNKCIJOS VAIZDAVIMAS ELEKTRINIO IMPEDANSO TOMOGRAFIJA: KLINIKINIS TAIKYMAS

Ernestas Viršilas^{1,3}, Adomas Janulionis^{1,3,4}, Arūnas Liubšys^{1,3}, Arūnas Valiulis^{1,2,3,4}

¹*Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Klinikinės medicinos instituto Vaikų ligų klinika,*

²*Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Sveikatos mokslų institutas,*

³*Vaikų ligoninė, Vilniaus universiteto ligoninės Santaros klinikų filialo Neonatologijos centras,*

⁴*Vilniaus miesto klinikinės ligoninės Vaikų ligų klinika*

Raktažodžiai: dirbtinis kvėpavimas, elektrinio impedanso tomografija, naujagimiai, naujagimių kvėpavimo sutrikimo sindromas, ūminis (suaugusiųjų) kvėpavimo sutrikimo sindromas.

Santrauka

Kvėpuojamajai plaučių funkcijai vertinti ilgą laiką buvo taikomi netiesioginiai arba invazyvūs metodai, kurie stokojo tikslumo, rodė plaučių būklę tik tam tikru momentu ir (arba) skleidė jonizuojančiąją spinduliuotę. Elektrinio impedanso tomografija (toliau – EIT) – dar naujas, neinvazyvus metodas, leidžiantis realiu laiku vertinti ir stebėti plaučių aeraciją, nekeliant pavojaus paciento sveikatai. Tobulėjant EIT technologijai, šis metodas, vis plačiau taikomas suaugusiųjų, vidurinio amžiaus vaikų ir paauglių klinikinėje praktikoje, skinasi kelią į kasdienę naujagimių gydymo ir slaugos praktiką. Šios studijos tikslas – plačiau supažindinti skaitytojus su EIT metodu ir jo taikymu klinikinėje praktikoje. Straipsnių paieška atlikta Pubmed duomenų bazėje, atrinkti tinkamiausi ir panaudoti apžvalgoje. Tyrimo apibendrinimas: EIT realiu laiku teikia informaciją apie regioninę plaučių aeraciją, padeda nustatyti plaučiuose vykstančius pokyčius ir įgalina laiku parinkti pacientui tinkamiausią kvėpuojamąją terapiją. EIT metodo taikymas teikia galimybę laiku nustatyti ir pašalinti ūmias komplikacijas, gauti vertingos informacijos apie lėtinius procesus plaučiuose bei jų gydymą.

Išvadas

Elektrinio impedanso tomografija – neinvazyvus metodas, neskleidžiantis apšvitos, teikiantis galimybę prie ligonio lovos realiu laiku vertinti ir stebėti plaučių aeraciją, nekeliant pavojaus sveikatai. Nors EIT klinikinėje praktikoje pradėta

taikyti daugiau nei prieš 30 metų [1], tačiau tik pastaruoju dešimtmečiu, kai buvo siekiama sumažinti spinduliuojančios radiacijos poveikį vertinant paciento plaučių būklę ir kvėpuojamosios terapijos efektyvumą, šis metodas susilaukė daugiau dėmesio. EIT vis dažniau taikomas visų amžiaus grupių pacientams intensyviosios terapijos skyriuose, ypač kai nuolat reikia vertinti paciento plaučių būklę, daryti dirbtinį kvėpavimą ar taikyti kitus pagalbinio kvėpavimo būdus, atlikti įvairias slaugos procedūras, keisti sunkiai sergančiojo padėtį ir pan. EIT gali būti labai naudinga, kai reikia parinkti tinkamiausią nuolatinį teigiamą kvėpavimo takų slėgį, keisti pagalbinio kvėpavimo būdus ar režimus, stebėti taikomo gydymo poveikį skirtingoms plaučių dalims [2-4]. EIT įgyja pripažinimą ne tik ūminių būklių, tokių kaip suaugusiųjų kvėpavimo sutrikimo sindromas ar pneumonija, gydymo atvejais. Ji taikoma vertinti ligos eigą, ar numatyti lėtinių ligų, tokių kaip cistinė fibrozė ar obstrukcinė plaučių liga, prognozę [5,6]. Pradėjusi savo kelią mokslinių tyrimų centruose, EIT greitai tapo prieinama ir populiari įvairių šalių ir ligoninių specializuotuose skyriuose [7]. Neseniai pradėtas specialių diržų-elektrodų taikymas naujagimiams, atvėrė EIT kelią ir į naujagimių skyrius. Nors EIT aukštos skiriamosios gebos erdvinį vaizdų kokybė neprilygsta kompiuterinės tomografijos (toliau – KT) ar magnetinio rezonanso tomografijos vaizdų kokybei, tačiau EIT teikia galimybę dinamiškai stebėti paciento plaučių būklę tiesiog prie jo lovos, neskleidžia radioaktyviosios spinduliuotės. EIT vaizdų kokybę gali prastinti paciento judesiai, netinkamas elektrodų kontaktas su oda ar kitų medicinos prietaisų keliama trikdžiai [8]. Skirtingų plaučių būklės vertinimo būdų palyginamoji charakteristika pateikiama 1 lentelėje.

Darbo tikslas – plačiau supažindinti medikų bendruomenę su EIT, jos veikimo principais, privalumais ir trūkumais, klinikinio taikymo galimybėmis visų amžiaus grupių pacientams, įskaitant naujagimius.

1 lentelė. EIT ir kitų plaučių monitoravimo metodų palyginimas.

a – Tyrimui reikalingas pakartotinis liginio išguldymas ir slaugos manipuliacijos; b – atliekama tik sąmoningiems ir kooperatyviems ligoniams, c – naudojant kontrastą.

Metodika	Liginio transportavimas	Invazyvus	Apšvita	Matavimas	Laiko skiriamoji geba	Erdvinė skiriamoji geba
Plaučių ultragarsas	Ne	Ne	Ne	Statinis	Taip ^a	Taip (2D)
Spirometrija	Ne ^b	Ne	Ne	Statinis	Dalinė	-
Pletizmografija	Taip	Dalinai	Ne	Statinis	Ne	-
Kraujo dujų tyrimas	Ne	Taip	Ne	Statinis	Ne	-
Pozitronų emisijos tomografija	Taip	Taip ^c	Taip	Statinis	Ne	Taip (3D)
Magnetinio rezonanso tomografija	Taip	Ne	Ne	Statinis/Nuolatinis	Ne	Taip (3D)
Kompiuterinė tomografija	Taip	Taip ^c	Taip	Statinis/Nuolatinis	Ne	Taip (3D)
Krūtinės ląstos rentgenograma	Ne	Ne	Taip	Statinis	Ne	Taip (2D)
Elektrinio impedanso tomografija	Ne	Ne	Ne	Nuolatinis	Taip	Taip (2D)

Medžiaga ir metodai

Naudotasi Pubmed duomenų baze, JAV Nacionalinės medicinos bibliotekos medicinos terminų tezauru ir nacionalinių sveikatos institutų publikacijomis. Straipsniai tyrimui rinkti naudojant MeSH (angl. Medical subject heading) duomenų bazės terminus ir frazes bei jungtukus „ar“, „ir“ (angl. and, or), pvz., „elektrinis impedansas“ ar „elektrinio impedanso tomografija“ ir „plaučių“. Paieška, atlikta iki 2019 m. rugpjūčio mėnesio, aprėpia 35 metų laikotarpį. Tyrimai, matuojan-

tys plaučių kraujotaką naudojant EIT, į apžvalgą neįtraukti dėl plaučių perfuzijos stebėsenai reikalingos metodikos [9] (hipertoninio NaCl tirpalo suleidimo į centrinę veną) ir kol kas neįvardinto klinikinio pritaikymo vaikams. Neįtraukti tyrimai su gyvūnais.

EIT veikimo principas pagrįstas elektrinės varžos matavimu tarp dviejų elektrodų. 16 elektrodų diržas, juosiantis krūtinės ląstą, leidžia matuoti varžą skirtinguose taškuose, apimdamas abu plaučius. Iš vieno elektrodo sklaidžiamas mažosios srovės impulsas (5 mA), o kiti elektrodai registruoja įtampos kitimą skirtingose plaučių vietose. Įkvėpimo metu oras patenka į plaučius, išsiplėčia krūtinės ląsta, todėl pakinta audinių varža, matuojama tarp elektrodų porų. Matuojant audinių varžos kitimą, registruojami audinių tankio pakitimai, kurie nenutrūksta keičiami funkciniais vaizdais, o šie, būdami skirtingo intensyvumo atspalvių, rodomi prietaiso ekrane. Ekrane galima matyti skaitines varžų pokyčių reikšmes ir jų diagramas. Geriausiai aeruojamos plaučių dalys yra šviesesnės, mažiau – tamsesnės. Matant vaizdus, nesunkiai galima spręsti, kuriose plaučių dalyse aeracija nevyksta, arba ji nepakankama (pvz., plaučių atelektazė, skysčiu užpildytos dalys ir pan.). EIT metodu galima nuolat stebėti plaučių būklę realiu laiku [8,10]. Nors EIT tiesiogiai nematuoja plaučių tūrio, o vertinamas tik reliatyvus varžų pokytis, iš gautųjų duomenų sukurta plaučių pletizmograma (1 pav.) teikia daug informacijos apie plaučių ir jo dalių ventilaciją. Šiuo metu į EIT prietaisus integruojamas oro

1 pav. EIT plaučių ventilacijos žemėlapis ir regioninis ventilacijos pasiskirstymas. Paveiksle matoma sumažėjusi dešinio plaučio ventilacija dėl kvėpavimo takų sekreto. A – priekinis krūtinės ląstos paviršius, P – užpakalinis krūtinės ląstos paviršius, R – dešinė, L – kairė.

tėkmės jutiklis, kuris, prijungtas prie ligoonio kvėpuojamojo kontūro, teikia informaciją apie kvėpavimo slėgį, tūrį, kitus kvėpavimo parametrus [11]. Tėkmės jutiklis 2 ml padidina negyvąjį tarpą, kuris suaugusiojo kvėpavimui didesnės įtakos neturi, tačiau gali viršyti giliai neišnešiotų naujagimių kvėpuojamąjį tūrį. Tėkmės jutiklis gali būti naudojamas tik tiems pacientams, kuriems taikomas dirbtinis kvėpavimas per intubacinį vamzdelį. Neinvazyvios kvėpuojamosios terapijos atveju į paciento kvėpuojamąjį kontūrą integruoti oro tėkmės jutiklio neįmanoma.

Klinikinis EIT taikymas suaugusiesiems, vidurinio amžiaus vaikams ir paaugliams. EIT taikymas klinikinėje praktikoje dažniausiai yra trejopas: 1) plaučių būklės vertinimas mechaninės plaučių ventilacijos metu, 2) plaučių funkcijos tyrimas ir 3) širdies veiklos bei plaučių kraujotakos vertinimas. EIT tyrimas realiu laiku prie ligoonio lovos teikia vertingą klinikinę informaciją, kurios neįmanoma gauti kitais tyrimo metodais. Daugelis klinikinių tyrimų patvirtina, kad EIT informacija prilygsta KT [12,13], pozitronų emisijos tomografijos [14] ir spirometrijos [15,16] duomenims.

Ūminis (suaugusiųjų) kvėpavimo sutrikimo sindromas (angl. acute respiratory distress syndrome, toliau – ARDS) – viena iš sudėtingiausių būklių, kurios metu greitai progresuoja kvėpavimo nepakankamumas dėl alveolių edemos, susiformuojančios esant plaučių kraujagyslių endotelio ir alveolių epitelio pažeidimui [17]. Šiems ligoniams dažniausiai tenka taikyti didelių parametru dirbtinį kvėpavimą, dėl kurio neretas antrinis, su mechanine ventilacija susijęs, plaučių pažeidimas. Tinkamai parinkti dirbtinio kvėpavimo parametrus nėra paprasta, nes siekiama garantuoti reikiamą oksigenaciją ir ventilaciją, kuo mažiau pažeidžiant plaučius. Naudojant EIT, galima matyti atskirų plaučių dalių aeraciją, t.y. pertemptas ir subliuškusias dalis, prie ligoonio lovos parinkti tinkamiausius ventilacijos parametrus, pasiekti plaučių ventilacijos homogeniškumą ir sumažinti mirštamumą [18]. EIT pagalba galima parinkti slėgį, reikalingą atverti alveoles ir, baigus parinkimo procedūrą, tą slėgį palaikyti [2]. Yra duomenų, kad per didelis liekamasis teigiamas slėgis iškėpimo pabaigoje (angl. Positive end expiratory pressure, toliau – PEEP) sukelia plaučių pertempimą, kuris sunkina širdies darbą, gali sukelti oro nuosrūvį (pvz., pneumotoraksą, pneumomediastinumą ar poodinę emfizemą), o dėl per mažo PEEP galimos plaučių atelektazės. EIT ne tik padeda matyti plaučių aeraciją, naudojant skirtingą PEEP, bet įgalina parinkti tinkamiausią slėgį, garantuojantį labiausiai homogenišką plaučių ventilaciją. Jokiais kitais šiuo metu žinomais metodais nebuvo galima to padaryti [19]. Kai kurie EIT prietaisai (pvz. Enlight 1800, Timpel, Brazil) turi integruotą automatinę PEEP nustatymo funkciją, kurios pagalba gydytojas parenka labiausiai tinkamą reikšmę [20].

Pneumonija – plaučių audinio uždegimas, dažniausiai sukeliamas bakterijų (rečiau virusų ir grybelių). Visuomenėje įgyta pneumonija yra viena iš dažniausių hospitalizacijos, sergamumo ir mirtingumo priežasčių Lietuvoje [21] ir Europoje [22]. Įprasta, kad uždegimo laipsniui ir vietai nustatyti, susikaupusiam skysčiui ar kitoms komplikacijoms išsiaiškinti dažniausiai atliekama krūtinės ląstos rentgenograma. EIT galėtų būti naudinga ne tik infiltracinių plaučių pokyčių vietai ir dydžiui nustatyti, bet ir dinaminių ventilacijos pokyčių vertinimui gydymo laikotarpiu [23].

Lėtinė obstrukcinė plaučių liga (toliau – LOPL) labai paplitusi tarp įvairaus, ypač vyresnio amžiaus grupės, pacientų. Ligai būdingas lėtinis bronchų uždegimas ir jų obstrukcija. Ligos sunkumui ir plaučių funkcijai įvertinti dažniausiai naudojama spirometrija, kuri matuoja funkcinių plaučių tūrį ir talpą. Tą patį galima padaryti pasitelkus funkcinius EIT vaizdus. EIT gali suteikti ir kitos vertingos informacijos: parodyti netolygų plaučių oringumą, ligoonio atsaką į bronchodilatacinį mėginį ar kitą gydymą, padėti fenotipuoti pacientus, numatyti ligos eigą ir prognozę [5].

Cistinė fibrozė – tai autosominiu recesyviniu būdu paveldima liga, dažniausiai pasireiškianti lėtine kvėpavimo takų infekcija, sukeliančia smulkiųjų kvėpavimo takų uždegimą ir obstrukciją. Ilgainiui vystosi bronhektazės ir LOPL [24]. Diagnozei nustatyti ir jos eigai įvertinti dažniausiai naudojamas radiologinis tyrimas – KT, tačiau dėl apšvitos jis nėra tinkamas ilgalaikiam ir nuolatiniam ligos vertinimui. Pasitelkus EIT, galima įvertinti didžiausią iškėpimo srovės greitį (angl. maximum expiratory force, sutr. MEF) bei funkcinę plaučių talpą, nustatyti plaučių obstrukcijos vietas, parodančias bronhektazes ir (arba) peribronchinių audinių sustorėjimą. EIT metu gaunami duomenys gerai koreliuoja su šiuo metu priimtų auksinių standartų – spirometrijos ir didelės raiškos KT rezultatais [25] vaikams [6] ir suaugusiesiems [26].

Dirbtinės plaučių ventilacijos (toliau – DPV) komplikacijų nustatymas tinkamu laiku yra labai svarbus, siekiant išvengti grėsmės paciento būklei. EIT realiu laiku leidžia nustatyti regioninius ventilacijos pokyčius, kurie atsiranda įvykus pneumotoraksui, atelektazei, esant netinkamai intubacinio vamzdžio padėčiai, susikaupus oro ar skysčio pleuros ertmėje [27]. Naudojantis jau sukurtais algoritmais [28], diagnozuojant pneumotoraksą, galima pasiekti 100 proc. jautrumą net ir esant nedideliame (20 ml) oro kiekiui pleuros ertmėje.

Klinikinis EIT taikymas naujagimiams

Nors EIT jau senokai naudojama suaugusiems ir vidurinio amžiaus vaikams bei paaugliams, naujagimiams ji pradėta taikyti visiškai neseniai [29]. Dėl technologinės

pažangos, pasiūliusios sumažintus impedanso jutiklius, šiuolaikiški EIT prietaisai gali būti sėkmingai naudojami ir naujagimiams.

Naujagimių kvėpavimo takai yra gerokai siauresni, nei vidurinio amžiaus vaikų, paauglių ar suaugusiųjų, ypač tarpūs ir linkę subliūkti dėl krūtinės ląstos elastinių savybių ir mažo liekamojo plaučių tūrio [30]. Greta šių anatominų ypatumų, kvėpavimo takuose susikaupęs sekretas, o neišnešiotų naujagimių dar ir surfaktanto trūkumas, dažnai lemia nevienalytę plaučių aeraciją, siejamą su nepakankama ventilacija ir oksigenacija. Dėl šių priežasčių ypač svarbu naujagimiams parinkti saugų ir efektyvų kvėpuojamosios terapijos būdą, užtikrinantį tolygią plaučių ventilaciją ir pakankamą kvėpuojamąjį tūrį. Iki šiol nebuvo metodų, galinčių dinamiškai vertinti naujagimio plaučių būklę, plaučių kvėpuojamąjį tūrį ar optimalų iškvėpimo pabaigos slėgį, neleidžiantį plaučiams subliūkti ir palaikantį liekamąjį plaučių tūrį. EIT metodas teikia galimybę ne tik dinamiškai stebėti naujagimio plaučių pokyčius, bet ir parinkti tinkamiausią pagalbinio kvėpavimo būdą ar režimą.

Kvėpavimo sutrikimo sindromas (toliau – KSS) – tai naujagimių kvėpavimo sutrikimas dėl plaučių struktūros nebrandumo ir surfaktanto trūkumo. KSS dažnis yra tiesiogiai susijęs su nėštumo trukme. Kuo anksčiau laiko gimsta naujagimiai, tuo dažnesnis KSS: < 28 gestacijos savaitė naujagimiams šis sindromas būna >80 proc. nuo visų atvejų [31], o išnešiotiems – <1 proc. [32]. Svarbiausi KSS gydymo komponentai yra egzogeninio surfaktanto skyrimas bei laiku pradėta kvėpuojamoji terapija. Į trachėją sušvirkštas surfaktantas padeda alveolėms atsiverti, labai greitai pakeisdamas plaučių aeraciją ir elastines savybes. Siekiant išvengti plaučių pažeidimo, būtent šiuo laikotarpiu ypač svarbu deramai įvertinti dinamiškai besikeičiančias plaučių savybes, tinkamai parinkti kvėpuojamosios terapijos būdą ir (arba) režimą. Iki šiol taikyti netiesioginiai plaučių kvėpuojamosios funkcijos vertinimo metodai, tokie kaip kraujo dujų tyrimas, pulsinė oksimetrija, transkutaninis $p\text{CO}_2$ ir $p\text{O}_2$ matavimas, CO_2 kiekio iškvėpiamose dujose matavimas ir kt. tik netiesiogiai ir tik tam tikru momentu atspindėjo plaučių būklę, tačiau neparodė plaučiuose vykstančių struktūrinių ir funkcinų pokyčių. Skirtingai nei suaugusiųjų ARDS, naujagimių KSS būdingi homogeniški plaučių pokyčiai [33], todėl plaučių dalių ventilacijos registravimas ir vertinimas EIT metodu iš dalies atspindi plaučių visumos būklę. EIT padeda nustatyti mažiau ar labiau aeruojamas plaučių dalis, anksti praneša klinicianui apie plaučių ventilacijos nevienalytiškumą, padėdama koreguoti kvėpuojamąją terapiją ir išvengti galimų komplikacijų net ir tais atvejais, kai naujagimio kvėpavimo nepakankamumas nėra akivaizdžiai išreikštas.

Naujagimių stebėjimas EIT parodė, kad surfaktanto sky-

rimas didina plaučių liekamąjį tūrį [34,35], gerina oksigenaciją, mažina plaučių pasipriešinimą plėtimuisi, trumpina laiką įkvėpimo tūriui pasiekti, ar didina įkvėpimo tūrį [3]. Remiantis ankstesniais tyrimais manyta, jog surfaktanto poveikis pasireiškia praėjus 1 valandai nuo jo sušvirkštimo į trachėją, tačiau EIT parodė, kad gydymo efektas yra greitas ir statistiškai reikšmingai pasikeičia po 5 minučių.

Didelio dažnio osciliuojančios ventilacijos (toliau – DDOV) stebėsena. 2006 m. pasirodė pirmieji sėkmingi DDOV stebėsenos su EIT bandymai. Tam tikslui buvo sukurtas matematinis filtras, gebantis atskirti ventilatoriaus sukeltus įpūtimus nuo paciento spontaninio kvėpavimo [36]. EIT metodu buvo parodyta, kaip egzogeninio surfaktanto skyrimas kartu su DDOV pagerina neišnešiotų naujagimių plaučių aeraciją ir kvėpuojamąjį tūrį [34]. A. H. van Kaam tyrėjų grupė EIT metodu parodė neišnešiotų naujagimių, sergančių KSS, didelio dažnio osciliuojančios ventilacijos ypatumus, atliekant oro talpos plaučiuose didinimo (angl. lung recruitment) procedūrą [33]. EIT taip pat padėjo įrodyti plaučių histerezę taikant DDOV neišnešiotiems, KSS gydomiems naujagimiams bei jos skirtumus nuo suaugusiųjų ARDS [37].

Kūno padėties įtaka ventilacijai. Sergantiems naujagimiams, ypač neišnešiotiems, būdingi nesinchronizuoti krūtinės ląstos ir pilvo kvėpavimo judesiai, vadinamoji torako-abdominalinė asinchronija [38]. EIT pagalba galima nustatyti ir parinkti tokią naujagimio gulėjimo pozą, kurioje vienos ar kitos plaučių dalys yra geriausiai aeruojamos. To prie ligonio lovos neįmanoma padaryti kitais metodais. Siekiant sinchronizuoti krūtinės ląstos ir pilvo judesius ir taip pagerinti plaučių ventilaciją, naujagimiai dažniausiai guldomas ant pilvo – tokia padėtis dažnai pagerina oksigenaciją (saturaciją) ir padidina funkcinį liekamąjį plaučių tūrį [39]. EIT tyrimai parodė, jog gulint ant pilvo geriausiai ventiluojamos dorsalinės plaučių dalys, kurios įprastai veikiamos gravitacijos jėgos [40]. Žinoma, kad ant pilvo gulinio naujagimio ar kūdikio padėtis gali sukelti ir nepageidaujamų reiškinių, tokių kaip poodinė periorbitalinė edema, ragenos abrazijos ar staigios kūdikių mirties sindromas, todėl buvo ieškoma tarpinės gulimosios padėties, kuri neturėtų anksčiau išvardytų neigiamų padarinių, išsaugant teigiamas ypatybes. EIT parodė, jog pusiau kniūpsčia padėtis taip pat efektyviai pagerina oksigenaciją ir funkcinį liekamąjį plaučių tūrį, kartu sumažindama kvėpavimo dažnį [41].

DPV komplikacijų nustatymas. Atliekant dirbtinį kvėpavimą, naujagimiams galimos tokios pat komplikacijos, kaip ir vidutinio amžiaus vaikams, paaugliams ar suaugusiems: pnemotoraksas, hidrotoraksas, atelektazė, netinkama intubacinio vamzdelio padėtis [42–44]. Nuolatinė sunkiai sergančių ar neišnešiotų naujagimių regioninės ventilacijos

stebėseną EIT pagalba gali padėti išvengti kvėpavimo aparato ir dirbtinio kvėpavimo sukeliama plaučių pažeidimo (angl. ventilator associated lung injury, sutr. VALI) [45].

Išvados

EIT, pradėta naudoti mokslinių tyrimų srityje, sparčiai diegiama klinikinėje praktikoje. EIT taikymas plinta visoms pacientų amžiaus grupėms, nes šis tyrimo metodas galimas prie paciento lovos, neskleidžia jonizuojančios radiacijos, užtikrina pakankamą vaizdų kokybę realiuoju laiku, leidžia individualizuoti paciento, turinčio kvėpavimo problemų, medicininę priežiūrą [46]. Tai ypač svarbu ligoniams, kurių plaučiai pažeidžiami nehomogeniškai (pvz., ARDS) ir kurie sudaro nevienalytę grupę, kai negalima bendroji kvėpuojamosios pagalbos strategija. EIT teikiama informacija padeda parinkti ligoniui tinkamesnę plaučių ventiliavimo strategiją, negu numatytoji standartizuotuose ARDS protokoluose [47]. Tokiems pacientams labai svarbu parinkti optimalų PEEP, kuris garantuotų geriausią oksigenaciją, kuo mažiau pažeidžiant plaučius. EIT prietaiso naudojimo algoritmai ir (ar) automatinis PEEP titravimas padeda pasiekti šį tikslą.

Sergant lėtinėmis plaučių ligomis, EIT padeda geriau suprasti plaučių patologinius procesus, nuolat ir saugiai stebėti ligonių kvėpavimo sistemos būklę, vertinti ligos eigą ir atsaką į gydymą.

EIT vis plačiau taikoma naujagimiams. EIT informacija yra labai vertinga stebėti ir suprasti KSS sukeltus pokyčius plaučiuose, po gydymo surfaktantu ir taikant įvairius pagalbinio kvėpavimo būdus ar režimus. EIT teikia galimybę įvertinti regioninę plaučių ventiliaciją realiuoju laiku, padeda parinkti optimalią kvėpuojamąją terapiją, laiku nustatyti galimas ar jau įvykusias komplikacijas.

Greta nurodytų privalumų, EIT tyrimas turi ir trūkumų. EIT vaizdų raiškai turi įtakos jutiklių kontaktas su oda, todėl, pacientui judant, gali nukentėti vaizdo kokybė. Diržas su elektrodais negali būti dedamas ant pažeistos odos dėl galimo infekcijos pavojaus ar papildomo pažeistos vietos dirginimo. EIT taikant nutukusiems pacientams (KMI >50), kurių riebalinė masė lemia prastesnę laidumą, nukenčia vaizdo kokybė. EIT nerekomenduojama stuburo traumą patyrusiems pacientams, nes dedant ar keičiant diržą su elektrodais, reikia keisti ligonio padėtį. EIT negalima ligoniams su implantuotu elektriniu širdies stimuliatoriumi, nes prietaiso veikla gali sutrikdyti širdies stimuliatoriaus darbą. Gaunamų vaizdų interpretavimui reikalingas tinkamas pasiruošimas ir patirtis, o EIT aparatas brangus, todėl iki šiol EIT dažniausiai naudojamas tuose medicinos centruose, kuriuose gydomi sunkiai sergantys (ypač kvėpavimo ligomis) ligoniai, reikalingi individualizuotos kvėpuojamosios terapijos.

Literatūra

1. Barber DC, Brown BH. Applied potential tomography. *J Phys E* 1984;17(9):723-733.
<https://doi.org/10.1088/0022-3735/17/9/002>
2. Long Y, Liu DW, He HW, Zhao ZQ. Positive end-expiratory pressure titration after alveolar recruitment directed by electrical impedance tomography. *Chin Med J (Engl)* 2015;128(11):1421-1427.
<https://doi.org/10.4103/0366-6999.157626>
3. Miedema M, de Jongh FH, Frerichs I, van Veenendaal MB, van Kaam AH. Regional respiratory time constants during lung recruitment in high-frequency oscillatory ventilated preterm infants. *Intensive Care Med* 2012;38(2):294-299.
<https://doi.org/10.1007/s00134-011-2410-2>
4. Becher TH, Bui S, Zick G, et al. Assessment of respiratory system compliance with electrical impedance tomography using a positive end-expiratory pressure wave maneuver during pressure support ventilation: a pilot clinical study. *Crit Care* 2014;18(1):1-11.
<https://doi.org/10.1186/s13054-014-0679-6>
5. Vogt B, Pullett S, Elke G, et al. Spatial and temporal heterogeneity of regional lung ventilation determined by electrical impedance tomography during pulmonary function testing. *J Appl Physiol* 2012;113(7):1154-1161.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01630.2011>
6. Vogt B, Löhr S, Zhao Z, et al. Regional lung function testing in children using electrical impedance tomography. *Pediatr Pulmonol* 2018;53(3):293-301.
<https://doi.org/10.1002/ppul.23912>
7. Bodenstein M, David M, Markstaller K. Principles of electrical impedance tomography and its clinical application. *Crit Care Med* 2009;37(2):713-724.
<https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181958d2f>
8. Frerichs I, Amato MBP, van Kaam AH, et al. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the Translational EIT development study group. *Thorax* 2016;72(1):83-93. doi:10.1136/thoraxjnl-2016-208357
<https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208357>
9. Frerichs I, Hinz J, Herrmann P, et al. Regional lung perfusion as determined by electrical impedance tomography in comparison with electron beam CT imaging. *IEEE Trans Med Imaging* 2002;21(6):646-652.
<https://doi.org/10.1109/TMI.2002.800585>
10. Davies P, Yasin S, Gates S, Bird D, Silvestre C. Clinical scenarios of the application of electrical impedance tomography in paediatric intensive care. *Sci Rep* 2019;9(1):5362.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-41774-1>
11. Teschner E, Imhoff M, Leonhardt S. Electrical impedance tomography: the realisation of regional ventilation monitoring, 2nd ed. Lübeck: Drägerwerk AG & Co. KGaA, 2015.
12. Elke G, Fuld MK, Halaweish AF, et al. Quantification of

- ventilation distribution in regional lung injury by electrical impedance tomography and xenon computed tomography. *Physiol Meas* 2013;34(10):1303-1318.
<https://doi.org/10.1088/0967-3334/34/10/1303>
13. Victorino JA, Borges JB, Okamoto VN, et al. Imbalances in regional lung ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;169(7):791-800.
<https://doi.org/10.1164/rccm.200301-133OC>
 14. Beitler JR, Sarge T, Banner-Goodspeed VM, et al. Effect of titrating positive end-expiratory pressure (PEEP) with an esophageal pressure-guided strategy vs an empirical high PEEP-Fio 2 strategy on death and days free from mechanical ventilation among patients with acute respiratory distress syndrome: a randomized clinical trial. *Jama* 2019;321(9):846-857.
<https://doi.org/10.1001/jama.2019.0555>
 15. Grivans C, Lundin S, Stenqvist O, Lindgren S. Positive end-expiratory pressure-induced changes in end-expiratory lung volume measured by spirometry and electric impedance tomography. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011;55(9):1068-1077.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2011.02511.x>
 16. Reifferscheid F, Elke G, Pulletz S, et al. Regional ventilation distribution determined by electrical impedance tomography: reproducibility and effects of posture and chest planeresp. *Respirology* 2011;16(3):523-531.
<https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2011.01929.x>
 17. Fanelli V, Vlachou A, Ghannadian S, Simonetti U, Slutsky AS, Zhang H. Acute respiratory distress syndrome: new definition, current and future therapeutic options. *J Thorac Dis* 2013;5(3):326-334.
[doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2013.04.05](https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2013.04.05)
 18. Amato MBP, Meade MO, Slutsky AS, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2015;372(8):747-755.
<https://doi.org/10.1056/NEJMsa1410639>
 19. Pulletz S, Kott M, Elke G, et al. Dynamics of regional lung aeration determined by electrical impedance tomography in patients with acute respiratory distress syndrome. *Multidiscip Respir Med* 2012;7(6):1-9.
<https://doi.org/10.1186/2049-6958-7-44>
 20. Pereira SM, Tucci MR, Morais CCA, et al. Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical ventilation and reduce postoperative atelectasis. *Anesthesiology* 2018;129(6):1070-1081.
<https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002435>
 21. Sakalauskas R.(sudarytojas), Danila E., Zablockis R., Bagdonas A., Zolubas M. Suaugusiųjų pneumonijos diagnostika ir gydymas. Lietuvos pulmonologų sutarimas. Kaunas, 2016:58.
 22. Welte T, Torres A, Nathwani D. Clinical and economic burden of community-acquired pneumonia among adults in Europe. *Thorax* 2012;67(1):71-79.
<https://doi.org/10.1136/thx.2009.129502>
 23. Karsten J, Krabbe K, Heinze H, Dalhoff K, Meier T, Drömann D. Bedside monitoring of ventilation distribution and alveolar inflammation in community-acquired pneumonia. *J Clin Monit Comput* 2014;28(4):403-408.
<https://doi.org/10.1007/s10877-014-9549-7>
 24. Malakauskas K., Sakalauskas R., Danila E., Zablockis R. Lie-tuvos suaugusiųjų cistinės fibrozės diagnostikos, gydymo ir pagalbos organizavimo sutarimas. Pulmonologija, imunologija ir alergologija, 2011;1(8):2-12.
 25. Zhao Z, Müller-Lisse U, Frerichs I, Fischer R, Möller K. Regional airway obstruction in cystic fibrosis determined by electrical impedance tomography in comparison with high resolution CT. *Physiol Meas* 2013;34(11).
<https://doi.org/10.1088/0967-3334/34/11/N107>
 26. Zhao Z, Fischer R, Frerichs I, Müller-Lisse U, Möller K. Regional ventilation in cystic fibrosis measured by electrical impedance tomography. *J Cyst Fibros* 2012;11(5):412-418.
[doi:10.1016/j.jcf.2012.03.011](https://doi.org/10.1016/j.jcf.2012.03.011)
<https://doi.org/10.1016/j.jcf.2012.03.011>
 27. Becher T, Bußmeyer M, Lautenschläger I, Schädler D, Weiler N, Frerichs I. Characteristic pattern of pleural effusion in electrical impedance tomography images of critically ill patients. *Br J Anaesth* 2018;120(6):1219-1228.
<https://doi.org/10.1016/j.bja.2018.02.030>
 28. Costa ELV, Chaves CN, Gomes S, et al. Real-time detection of pneumothorax using electrical impedance tomography. *Crit Care Med* 2008;36(4):1230-1238.
<https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31816a0380>
 29. Seppä V-P. Development and clinical application of impedance pneumography technique. Tampere university of technology 2014;1253:122.
 30. Mansell A, Bryan C, Levison H. Airway closure in children. *J Appl Physiol* 1972;33(6):711-714.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1972.33.6.711>
 31. Laptook AR, Walsh MC, Hale EC, Poindexter BB, Finan NN, Richard A. Neonatal outcome of extremely preterm infants from the NICHD research network. *Pediatrics* 2010;126(3):443-456.
<https://doi.org/10.1542/peds.2009-2959>
 32. Wickersham IR, Lyon DC, Barnard RJO, et al. NIH public access. *Young*. 2009;53(5):639-647.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.01.033>
 33. Miedema M, de Jongh FH, Frerichs I, van Veenendaal MB, van Kaam AH. The effect of airway pressure and oscillation amplitude on ventilation in preterm infants. *Eur Respir J* 2012;40(2):479-484.
<https://doi.org/10.1183/09031936.00138311>
 34. Miedema M, de Jongh FH, Frerichs I, van Veenendaal MB, van Kaam AH. Changes in lung volume and ventilation during surfactant treatment in ventilated preterm infants. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;184(1):100-105.
<https://doi.org/10.1164/rccm.201103-0375OC>
 35. van der Burg PS, de Jongh FH, Miedema M, Frerichs I, Van Kaam AH. Effect of minimally invasive surfactant therapy on lung volume and ventilation in preterm infants. *J Pediatr* 2016;170:67-72.

- <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.11.035>
36. Dunlop S, Hough J, Riedel T, Fraser JF, Dunster K, Schibler A. Electrical impedance tomography in extremely prematurely born infants and during high frequency oscillatory ventilation analyzed in the frequency domain. *Physiol Meas* 2006;27(11). <https://doi.org/10.1088/0967-3334/27/11/008>
 37. Miedema M, de Jongh FH, Frerichs I, van Veenendaal MB, van Kaam AH. Changes in lung volume and ventilation during lung recruitment in high-frequency ventilated preterm infants with respiratory distress syndrome. *J Pediatr* 2011;159(2). <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.01.066>
 38. Wolfson MR, Greenspan JS, Deoras KS, Allen JL, Shaffer TH. Effect of position on the mechanical interaction between the rib cage and abdomen in preterm infants. *J Appl Physiol* 1992;72(3):1032-1038. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.3.1032>
 39. Gouna G, Rakza T, Kuissi E, Pennaforte T, Mur S, Storme L. Positioning effects on lung function and breathing pattern in premature newborns. *J Pediatr* 2013;162(6):1133-1137.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.11.036>
 40. van der Burg PS, Miedema M, de Jongh FH, Frerichs I, van Kaam AH. Changes in lung volume and ventilation following transition from invasive to noninvasive respiratory support and prone positioning in preterm infants. *Pediatr Res* 2015;77(3):484-488. <https://doi.org/10.1038/pr.2014.201>
 41. Montgomery K, Choy NL, Steele M, Hough J. The effectiveness of quarter turn from prone in maintaining respiratory function in premature infants. *J Paediatr Child Health* 2014;50(12):972-977. <https://doi.org/10.1111/jpc.12689>
 42. Miedema M, Frerichs I, de Jongh FHC, van Veenendaal MB, van Kaam AH. Pneumothorax in a preterm infant monitored by electrical impedance tomography: a case report. *Neonatology* 2010;99(1):10-13. <https://doi.org/10.1159/000292626>
 43. van der Burg PS, Miedema M, de Jongh FH, van Kaam AH. Unilateral atelectasis in a preterm infant monitored with electrical impedance tomography: a case report. *Eur J Pediatr* 2014;173(12):1715-1717. <https://doi.org/10.1007/s00431-014-2399-y>
 44. Steinmann D, Engehausen M, Stiller B, Guttman J. Electrical impedance tomography for verification of correct endotracheal tube placement in paediatric patients: a feasibility study. *Acta Anaesthesiol Scand* 2013;57(7):881-887. <https://doi.org/10.1111/aas.12143>
 45. Miedema M, Waldmann A, McCall KE, Böhm SH, van Kaam AH, Tingay DG. Individualized multiplanar electrical impedance tomography in infants to optimize lung monitoring. *Am J Respir Crit Care Med* 2017;195(4):536-538. <https://doi.org/10.1164/rccm.201607-1370LE>
 46. Durlak W, Kwinta P. Role of electrical impedance tomography in clinical practice in pediatric respiratory medicine. *ISRN Pediatr* 2013;2013:1-5. <https://doi.org/10.1155/2013/529038>
 47. Theerawit P, Sutherasan Y, Ball L, Pelosi P. Respiratory monitoring in adult intensive care unit. *Expert Rev Respir Med* 2017;11(6):453-468. <https://doi.org/10.1080/17476348.2017.1325324>

FUNCTIONAL LUNG IMAGING USING ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY: CLINICAL APPLICATIONS

E. Viršilas, A. Janulionis, A. Liubšys, A. Valiulis

Keywords: electrical impedance tomography, mechanical ventilation, acute (adult) respiratory distress syndrome, neonatal respiratory distress syndrome, neonate.

Summary

Introduction: Electric impedance tomography (EIT) is a relatively new, non-invasive, real-time imaging technique that allows for the evaluation and monitoring of pulmonary aeration at bedside. For a long time, indirect or invasive methods have been used to assess respiratory lung function, all of which lack precision, temporal resolution and/or emit ionizing radiation. With the advancement of EIT technology, this imaging modality is gaining popularity not only among adults and older children, but is also finding its way into the daily practice of neonatal treatment and care.

Objective: To raise awareness of the EIT approach and its application in clinical practice. **Methodology:** an electronic search of Pubmed was performed up to August 2019 about EIT and its application for humans.

Conclusions: EIT provides real-time information on regional lung aeration, which helps identify pulmonary changes and provides timely, patient specific respiratory therapy. It can aid in the timely detection and resolution of acute complications as well as provide valuable information on chronic lung diseases, their treatment and possible outcome.

Correspondence to: ernestas.virsilas@santa.lt

Gauta 2019-11-15