

e-ISSN: 2345-0592

**Online issue**

Indexed in *Index Copernicus*

**Medical Sciences**

Official website:  
[www.medicisciences.com](http://www.medicisciences.com)



## **Clinical application of electrical impedance tomography in assessment of preterm infant's lung adaptability during the first days of life**

**Adomas Janulionis<sup>1,3,5</sup>, Viktorija Šutova<sup>1</sup>, Violeta Drejerienė<sup>5</sup>, Vita Langienė<sup>5</sup>, Algirdas Valiulis<sup>2</sup>, Nina Prokopčiuk<sup>4</sup>, Arūnas Valiulis<sup>1,2,5</sup>**

<sup>1</sup>Vilnius University Medical Faculty, Institute of Clinical Medicine, Clinic of Children's Diseases,

<sup>2</sup>Vilnius University Medical Faculty, Institute of Health Sciences, Department of Public Health,

<sup>3</sup>Vilnius University Hospital Santaros Clinics, Center of Neonatology,

<sup>4</sup>SRI Center for Physical Sciences and Technology,

<sup>5</sup>Vilnius City Clinical Hospital, Lithuania

### **Abstract**

Mechanically ventilated infants with respiratory distress syndrome often develop secondary lung injury. Although special attention is paid to lung-protective ventilation strategies and non-invasive ventilation methods, easy-to-use, radiation-free technique is needed for their optimization and pulmonary ventilation distribution monitoring at the bedside. Only few years ago electrical impedance tomography was started to use in clinical neonatology. This new method of patient examination and long-term monitoring has shown great potential for individualizing neonatal respiratory support and reducing the incidence of mechanical ventilation-related adverse effects. This article presents the first clinical case in Baltic countries of preterm neonate examined with electrical impedance tomography (Swisstom BB2, Switzerland) and literature review introducing the experience of other countries in this innovative field.

**Keywords:** electrical impedance tomography, mechanical lung ventilation, non-invasive respiratory support, respiratory distress syndrome, preterm neonates.

# Elektrinio impedanso tomografijos pritaikymas vertinant neišnešio to naujagimio plaučių adaptacines galimybes pirmomis gyvenimo dienomis

Adomas Janulionis<sup>1,3,5</sup>, Viktorija Šutova<sup>1</sup>, Violeta Drejerienė<sup>5</sup>, Vita Langienė<sup>5</sup>, Algirdas Valiulis<sup>2</sup>, Nina Prokopčiuk<sup>1,4</sup>, Arūnas Valiulis<sup>1,2,5</sup>

<sup>1</sup> *Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Klinikinės medicinos instituto Vaikų ligų klinika*

<sup>2</sup> *Vilniaus universiteto medicinos fakulteto Sveikatos mokslų instituto Visuomenės sveikatos katedra*

<sup>3</sup> *Vilniaus universiteto ligoninės Santaros klinikos Neonatologijos centras*

<sup>4</sup> *VMTI Fizinių ir technologijos mokslų centras*

<sup>5</sup> *Vilniaus miesto klinikinė ligoninė*

## Santrauka

Kvėpavimo sutrikimą turintiems naujagimiams, kuriems taikoma mechaninė plaučių ventiliacija, dažnai išsivysto antrinis plaučių pažeidimas. Todėl ypatingai daug dėmesio skiriama neinvazinėms technikoms, plaučius tausojančioms ventiliacijos strategijoms kurti, tačiau jų optimizavimui reikalingas patogus ir saugus kartotinių plaučių funkcijos tyrimų prietaisas, kurį būtų galima naudoti prie ligonio lovos. Pastaruosius keletą metų elektrinio impedanso tomografija (EIT) pradėta taikyti neonatologijoje. Šis naujas tyrimo ir ilgalaikio naujagimių kvėpavimo funkcijos stebėjimo metodas parodė dideles galimybes individualizuojant naujagimio kvėpavimo terapiją ir mažinant su mechanine ventiliacija susijusių nepageidaujamų reiškinių dažnį (hiperoksija, hipokarbija, plaučių tūrio / slėgio trauma ir kt.). Šiame straipsnyje pateikiamas pirmasis Baltijos šalyse klinikinis neišnešio to naujagimio ištyrimo EIT metodu (*Swisstom BB2*, Šveicarija) aprašymas ir naujausios literatūros apžvalga.

**Raktažodžiai:** elektrinio impedanso tomografija, dirbtinė plaučių ventiliacija, neinvazinė plaučių ventiliacija, kvėpavimo sutrikimo sindromas, naujagimis, neišnešio ti naujagimiai.

## Įvadas

Kvėpavimo sutrikimo sindromas yra viena dažniausių neišnešiotų naujagimių sergamumo ir mirštamumo priežasčių, po gimimo dažniausiai jiems reikalinga intensyvioji terapija ir kvėpavimo pagalba (pastovaus teigiamo slėgio terapija, mechaninė plaučių ventilacija, surfaktanto terapija ir kt.). Dirbtinės plaučių ventilacijos pašalinio poveikio reiškinių prevencijai (hiperoksija, hipokarbija, plaučių tūrio trauma, bronchų-plaučių displazija (BPD) ir kt.) yra svarbu stebėti oksigenaciją, rūgščių- šarmų pusiausvyros rodiklius, įvertinti vienmomentines plaučių rentgenogramas, hemodinamiką ir kitus rodiklius. Iki šiol neturėjome galimybės naujagimių plaučių funkciją ir jų oringumą tirti neinvazyviu būdu realiame laike, t.y. objektyviai, savalaikiai stebėti plaučių funkcijos pokyčius bei nuosekliai juos vertinti dinamikoje. Elektrinio impedanso tomografija (*angl. electrical impedance tomography* – EIT) – tai naujas, inovatyvus, saugus ir lengvai pritaikomas klinikinėje praktikoje plaučių funkcijos diagnostikos metodas: leidžia neinvazyviai ir nuosekliai, realiame laike (online), prie naujagimio lovos, efektyviai, saugiai monitoruoti naujagimio plaučių oringumo kitimą, objektyviau vertinti naujagimio kvėpavimo funkciją. Šis diagnostinis tyrimas ypač svarbus ir padeda stebėti plaučių funkcijos ir oringumo pokyčius naujagimių ankstyvosios adaptacijos laikotarpiu, per „auksines valandas“ ir pirmąsias gyvenimo paras. Jei reikalinga kvėpavimo pagalba, padeda laiku keisti plaučių ventilacijos parametrus (slėgio, deguonies koncentracijos ir kt.). EIT matuoja elektrinės varžos skirtumus, atsirandančius dėl plaučių audinio laidumo pokyčių kvėpavimo metu, kas leidžia netiesiogiai įvertinti plaučių oringumą spontaniškai kvėpuojantiems, taip pat naujagimiams, kuriems taikoma dirbtinė kvėpavimo pagalba [2, 6]. Pastaraisiais metais vis daugiau taikomos neinvazinės kvėpavimo palaikymo technikos, tokios kaip pastovus teigiamas slėgis kvėpavimo takuose (*angl.: Continuous positive airway pressure* – CPAP), dviejų

lygių teigiamo slėgio terapija (*angl. Bilevel positive airway pressure* – BiPAP) arba neinvazinė teigiamo slėgio ventilacija (*angl. Noninvasive positive pressure ventilation* – NIPPV) [11, 13]. Taikant pastaruosius, jau praktikoje įteisintus gydymo metodus, šiandien dažniausiai ventilacijos efektyvumo vertinimui naudojamas kraujo oksigenacijos monitoravimas [4].

## Darbo tikslas

1. Apžvelgti mokslinę literatūrą, kurioje EIT metodu vertinama naujagimių plaučių oringumas ir jo kitimas ilgalaikio stebėjimo metu.
2. Pateikti klinikinį atvejį – pirmą kartą Baltijos šalyse EIT monitoriumi tirtą plaučių oringumą neišnešiotam naujagimiui.

## Tyrimo objektas ir metodai

Tyrimo objektas – mokslinėse duomenų bazėse esančios publikacijos lietuvių ir anglų kalba, skirtos neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių (nuo gimimo iki 1 mėn. amžiaus) plaučių funkcijos įvertinimui ir monitoravimui. Paieška buvo atliekama 2019 m. lapkričio – 2020 m. balandžio mėnesiais 3 duomenų bazėse: MEDLINE per PubMed, Web of Science, Cochrane Library / Clinical trials bei naudojantis Google Scholar paieškos sistema. Šis tyrimas yra didesnės apimties sisteminės apžvalgos dalis, kurios paieškai buvo naudojama ši strategija: *Electric Impedance[MAJR] AND Infant, Newborn[MeSH Terms] OR Intensive Care Units, Neonatal[MeSH Terms] OR Lung/physiology[MeSH Terms] OR Respiratory Distress Syndrome, Newborn / diagnosis[MeSH Terms] OR Respiratory Distress Syndrome, Newborn / therapy[MeSH Terms] OR Hyaline membrane disease[MeSH Terms] NOT Respiratory Distress Syndrome, Adult[Mesh]*. 61 publikacija įtraukta į galutinę analizę. Šiam straipsniui atrinktos ir apibendrintos publikacijos, kuriose EIT naudojama naujagimių, turinčių kvėpavimo sutrikimo sindromą (KSS), kvėpavimo funkcijai ir kvėpavimo palaikymo terapijos priemonių efektyvumo įvertinimui.

Klinikinis atvejis stebėtas Vilniaus m. klinikinės ligoninės Akušerijos ir ginekologijos klinikos Naujagimių skyriuje 2020 m. gegužės 6 d. Matavimai atlikti Swisstom BB2 (Šveicarija) EIT prietaisu, naudojant NEO SensorBelts 32 elektrodų, 47,68 Hz dažnio dirželį, apribotą naujagimiams. Buvo vertinama ligos ir gyvenimo anamnezė, klinikiniai požymiai, laboratoriniai tyrimai, rentgenologinis tyrimas, atsakas į paskirtą gydymą.

### Literatūros apžvalga

EIT technologijos šiuo metu daro tik pirmuosius žingsnius klinikinėje neonatologijoje. Iki šiol publikuoti keturi tyrimai, skirti naujagimių plaučių mechaninės ventilacijos optimizavimui EIT pagalba [2, 4, 5, 6]: spontaninių ir dirbtinių įpūtimų santykio parinkimui, optimalaus teigiamo slėgio iškvėpimo pabaigoje (angl. positive end-expiratory pressure – PEEP) nustatymui, maksimalios plaučių apsaugos mechaninės ventilacijos metu užtikrinimui, slėgio – tūrio manevro poveikio plaučiams įvertinimui bei plaučių mechanikos pokyčių pereinant iš invazinės į neinvazinę ventilaciją nustatymui. Du tyrimai EIT pagalba vertino neinvazinės ventilacijos poveikį plaučių mechanikai [7, 8] – lygintos nCPAP ir BiPAP technikos, skirtingo nuolatinio teigiamo slėgio kvėpavimo takuose (angl. continuous distending pressure – CDP) įtaka ventilacijai taikant nCPAP. Kituose tyrimuose [1, 3] buvo lyginamos įvairios oro talpos plaučiuose didinimo naujagimiams strategijos. Naudojant EIT metodą taip pat buvo tiriama naujagimių plaučių mechanika prailginto įkvėpimo manevro metu (angl. sustained inflation – SI), siekiant parinkti optimalią SI strategiją [9, 10, 11, 12, 13]. Dviejose publikacijose EIT buvo naudota plaučių funkcijos įvertinimui prieš ekstubaciją [14, 18]. EIT tyrimo metodai taip pat buvo naudojami siekiant įvertinti kai kurių invazinių procedūrų, pavyzdžiui, endotrachėjinio vamzdelio atsiurbimo procedūros, poveikį į plaučių tūris [15, 16, 17].

Optimalios mechaninės ventilacijos strategijos parinkimas yra labai svarbus, siekiant išvengti naujagimio plaučių pažeidimo. *Frerichs* ir bendraaut. tyrimai parodė funkcinės

elektrinio impedanco tomografijos (fEIT) galimybes parinkti tinkamą dirbtinių įpūtimų ir spontaninių įkvėpimų santykį bei dirbtinės plaučių ventilacijos (DPV) režimą [4, 5]. DPV parametrų korekcija, atsižvelgiant į nustatytą regioninę plaučių aeraciją, gali užkirsti kelią plaučių pertempimui ir atelektazių atsiradimui. *Dargaville* ir bendraaut. [2] panaudojo EIT, siekiant parinkti labiausiai tinkamą palaikomąjį slėgį iškvėpimo pabaigoje ir regioninės aeracijos pokyčių stebėjimui taikant skirtingą slėgį. Jokiais kitais šiuo metu žinomais metodais to nebuvo galima padaryti [6].

Nepaisant plačiai paplitusio nCPAP naudojimo naujagimių skyriuose, daugeliui naujagimių su kvėpavimo sutrikimo sindromu išlieka invazinės ventilacijos poreikis. Jos neigiamą efektą plaučiams, kaip parodė gyvūnų studijos, galima minimizuoti plaučius tausojančia ventilacijos strategija arba oro talpos plaučiuose didinimo procedūromis (angl. lung recruitment maneuver – LRM). Pastarųjų metu palaipsniui didinamas, o vėliau – mažinamas nuolatinis teigiamas slėgis kvėpavimo takuose (angl. continuous distending pressure – CDP). *Miedema* ir bendraaut. įvertino visuotinius ir regioninius plaučių tūrio ir aeracijos pokyčius neišnešiotiems naujagimiams su KSS, gydomiems didelio dažnio virpesių ventilacijos (angl. high-frequency oscillatory ventilation – HFOV) režimu. EIT pagalba pavyko įrodyti plaučių histerezę neišnešiotiems naujagimiams su KSS, palyginti ją su suaugusiųjų ARDS (angl. acute respiratory distress syndrome – ARDS) [3] bei išsiaiškinti ypatumus, reikalingus optimizuoti plaučių tūrį ir ventilaciją HFOV metu [1].

Ištyrus invazinės ventilacijos potencialiai žeidžiantį poveikį kvėpavimo sistemai, pradėta ieškoti naujų kvėpavimo palaikymo terapijos būdų. Tokie metodai, kaip CPAP, BiPAP, NIPPV, skiriasi nuo mechaninės plaučių ventilacijos, nes yra neinvaziniai, nereikalauja endotrachėjinio vamzdelio įvedimo, kvėpuojamąsias dujas (deguonies – oro mišinį ir pan.) galime teikti per kaukę ar nosies kaniules [19, 20]. 2017 m. *Bhatia* tyrėjų grupė aprašė kaip sistemiskai manipuluojant CDP, galima

optimizuoti neišnešiotų naujagimių plaučių tūrį [7]. EIT pagalba buvo stebimas plaučių atsakas į slėgių kaitaliojimą ir atelektazės išnykimą. *Miedema* ir bendraaut. palygino trijų nCPAP slėgių (2, 4 ir 6 cmH<sub>2</sub>O) ir BiPAP poveikį stabilios būklės neišnešiotų naujagimių kvėpavimo mechanikai [8]. Tyrimo rezultatai buvo lyginti su kvėpavimo takų indukcinės pletizmografijos duomenimis. Per pastaruosius penkis metus atsirado nemažai tyrimų, lyginančių įvairias oro talpos plaučiuose didinimo procedūras. Daugiausiai tiriamas metodas, sukuriantis įpūtimo slėgį ir ilgą laiką jį palaikantis (angl. sustained inflation – SI). Tokiu būdu iškart po gimimo vaisiaus vandenys greitai pašalinami iš plaučių, užtikrinama vienoda plaučių aeracija ir funkcinė liekamoji talpa. Tačiau išlieka prieštaringos nuomonės apie SI metodo taikymo saugumą neišnešiotiems naujagimiams. *Tingay* tyrėjų grupė atliko net kelis tyrimus su gyvūnais, kuriuose lygino įvairias oro talpos plaučiuose didinimo procedūras, vertinant jas EIT pagalba [9, 10, 13]. *Polglase* ir bendraaut. elektrinio impedanso tomografija palygino tūrio ribojamą SI strategiją (angl. Volume-limited sustained inflation – VolSI) su slėgio ribojama (angl. Pressure-limited sustained inflation – PressSI) ir neaptiko reikšmingų regioninės ventilacijos skirtumų [11]. EIT, derinant su kitais metodais, tokiais kaip forsotų virpesių ventilacija (angl. forced oscillation technique – FOT), galima neinvazyviai monitoruoti kvėpavimo kintamąsias ir neišnešiotam naujagimiui geriau parinkti aeracijos strategiją [12].

Gręšiant antriniam plaučių pažeidimui ir bronchopulmoninei displazijai, naujagimiai su KSS ekstubuojami kiek įmanoma anksčiau. *Van der Burg* ir bendraaut. parinko optimalią kūno padėtį neišnešiotų naujagimių ekstubacijai [18], o *Rossi* ir bendraaut. – optimalų PEEP slėgį, užtikrinantį geriausią ventilacijos homogeniškumą prieš ekstubaciją [14]. Visiems mechaniškai ventiliuojamiems naujagimiams turi būti atliktas endotrachėjinio vamzdelio (angl. endotracheal tube – ETT) atsiurbimas, užtikrinantis sekreto pašalinimą ir kvėpavimo takų pralaidumą. Atsiurbimas uždara sistema yra dažnai rekomenduojamas būdas, įgalinantis sumažinti

plaučių tūrio svyravimą. *Vanveenendaal* ir bendraaut. [15] o taip pat kitų šalių tyrėjai [16, 17] patvirtino EIT naudojimą plaučių tūrio pokyčiams vertinti atliekant trumpalaikes terapines intervencijas.

### Klinikinio atvejo aprašymas

Neišnešiotas naujagimis, kuriam buvo diagnozuotas įgimtas plaučių uždegimas bei kvėpavimo sutrikimo sindromas, naujagimių intensyvios terapijos poskyryje buvo tiriamas ir gydomas pagal Vilniaus miesto klinikinėje ligoninėje patvirtintas metodikas. Buvo vertinama anamnezė (35 gestacijos savaitių neišnešiotumas, gimė cezario pjūvio operacijos pagalba), klinika (kvėpavimo sutrikimo sindromo požymiai – tarpšonkaulinių tarpų ir krūtinkaulio retrakcijos, tachipnėja, smulkūs karkalai abejuose pusėse), laboratoriniai tyrimai (uždegiminiai kraujo pakitimai, hipoksemija), rentgenologinis ištyrimas (sustorėjusi tarpuskiltinė pleura, apatinėse plaučių dalyse nehomogeniškas pritemimas dėl infiltracijos (aspiracijos), ryškesnis kairiame plautyje; orobronchograma ryškėja iki segmentinių bronchų. Išvada: pneumonija, kvėpavimo sutrikimų sindromas I-II stadija). Pirmas 5 gyvenimo paras buvo skirtas gydymas pagal patvirtintus gydymo protokolus (antibakterinis gydymas, infuzinė terapija) bei kvėpuojamoji terapija (CPAP per nosies kaniules). Naujagimio būklė gerėjo, išnyko kvėpavimo nepakankamumo požymiai, 10 parą pilnai natūraliai žindomas naujagimis išrašytas namo.

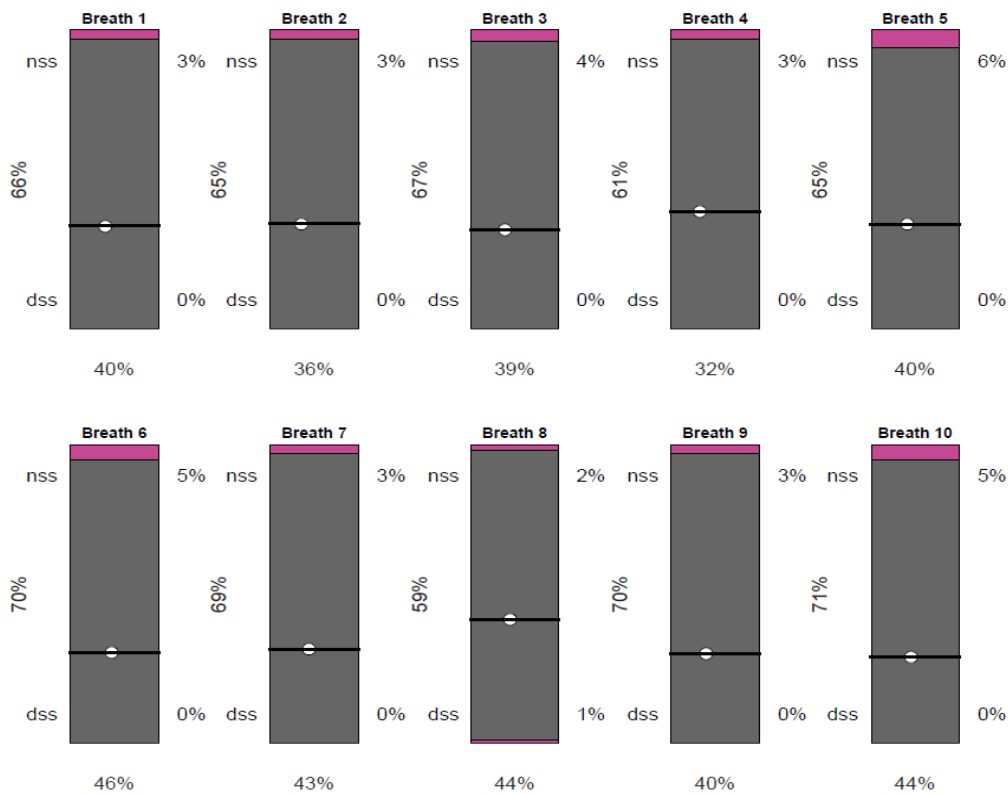
Greta įprastinio gydymo, antrąją parą po gimimo buvo tirama naujagimių plaučių aeracija Elektrinio impedanso tomografu. Rezultatai buvo vertinami 8 minučių laiko intervalais. Kiekviename intervale buvo analizuojama po 10 kvėpavimo ciklų. Duomenys buvo vertinami naudojant Ibex 1.4 programą. Pasirenkant signalo „pikus“ buvo atliekami skaičiavimai ir išvedami vidurkiai.

Plaučių oringumas buvo vertintas realiame laike („online“), įkvėpimo ir iškvėpimo metu, priekinėje – užpakalinėje ir dešinėje – kairėje projekcijose. EIT tyrimo metu nustatyta, kad labiausiai oringos buvo naujagimio plaučių dorsalinės sritys. Didžioji kvėpuojamojo tūrio dalis

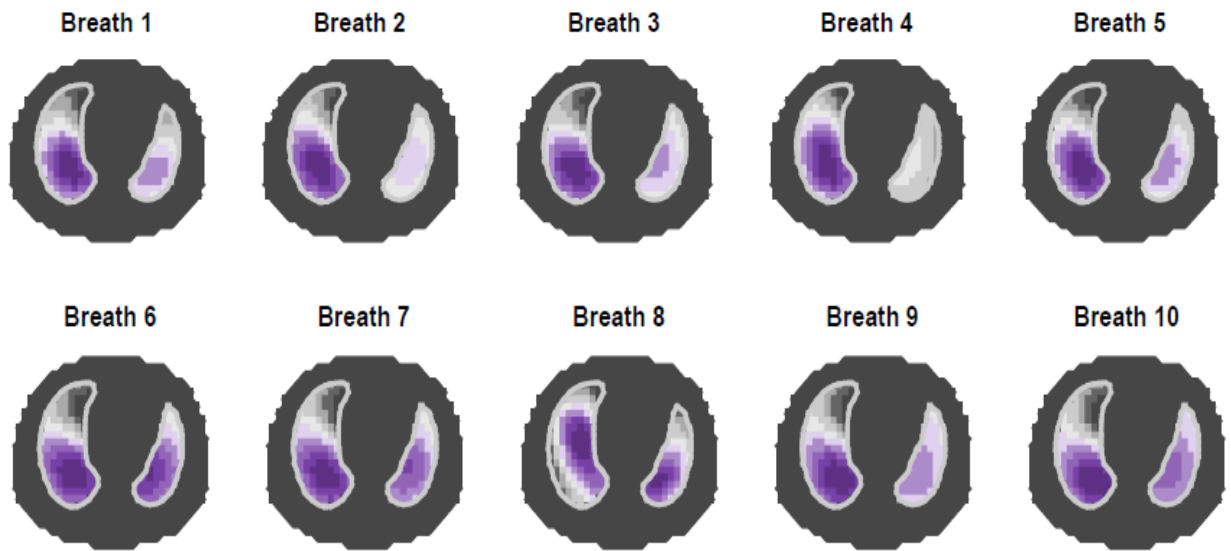
atiteko dešiniajam plaučiui, kairiojo išsiskleidimas atsiliko beveik 2 kartus (1, pav.).

Analizės metu atlikti ir pavaizduoti grafiškai šie matavimai: 1) EIT pasirinktos plaučių sritys (*angl. region of interest*) – funkciškai nustatomi regionai, kur vyksta su ventilacija susiję varžos pokyčiai; 2) registruojamos gero

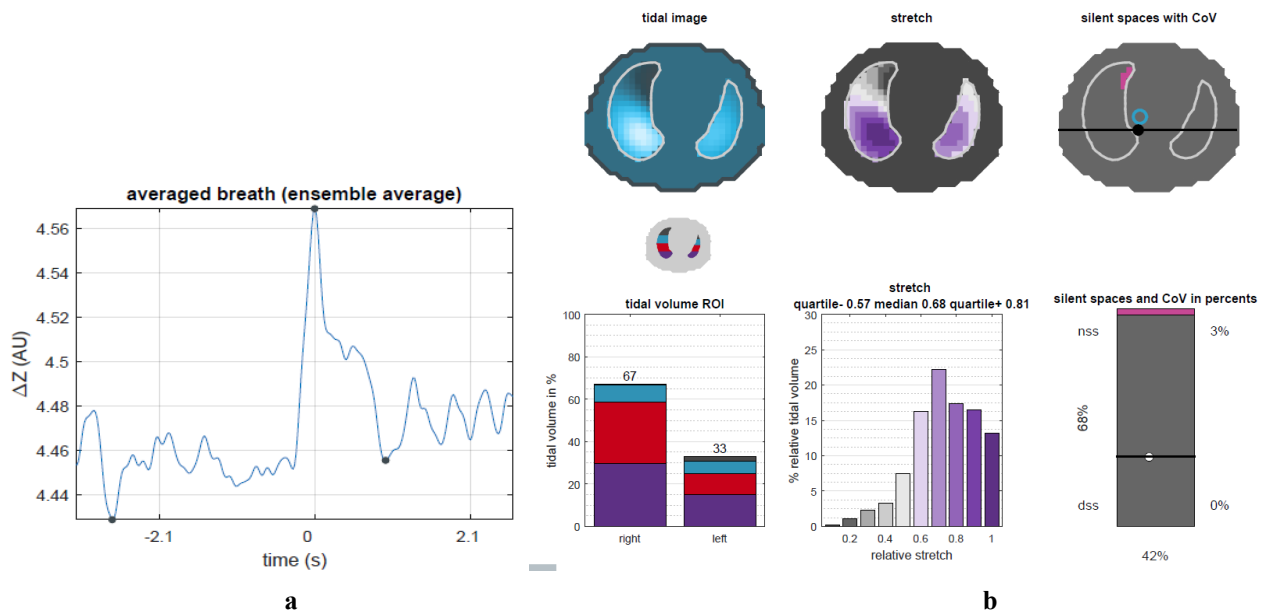
plaučių oringumo sritys, kurios žymimos monitoriuje violetine spalva; ventilacijos centras (*angl. Center of ventilation – CoV*) – apibūdina geriausiai ventiliuojamas plaučių sritis; 3) „nebylios“ sritys – tai neventiliuojamos arba labai mažai ventiliuojamos plaučių sritys, kurios žymimos pilka spalva (2, 3 pav.).



**1 pav.** Pirmųjų 8 minučių EIT duomenų analizės rezultatai (10 ciklų): „nebylių“ sričių ir ventilacijos centro procentinė išraiška plaučiuose.



2 pav. Pirmųjų 8 minučių EIT duomenų analizės rezultatai (10 ciklų): plaučių oringumo pokyčių vizualizacija.



3 pav. Pirmųjų 8 minučių EIT duomenų rezultatų vidurkiai impedanso kitimo kreivė (a); plaučių oringumo vizualizacija (b).

Įvertinę literatūros duomenis ir mūsų pirmuosius tyrimus, galime teigti kad naujo diagnostikos EIT metodo panaudojimo galimybės yra plačios ir naudingos neonatologijoje. Mūsų pateiktame klinikinio atvejo aprašyme greta taikyto įprastinio tyrimo ir gydymo, najagamio plaučių funkcija ir oringumas buvo papildomai

tirti elektrinio impedanso tomografu. Tyrimo metu nustatyta, kad plaučių oringumas buvo sumažintas, ypač kairiajame plautyje. Šiuo metu mokslinėje literatūroje dar labai nedaug duomenų apie šio tyrimo naudojimą neonatologijoje – pavieniai neonatologijos centrai pradeda įsisavinti šį metodą. Lietuvoje EIT vienu metu pradėta

naudoti Vilniaus universiteto ligoninės Santaros klinikų Neonatologijos centre ir Vilniaus m. klinikinės ligoninės Akušerijos ir ginekologijos klinikos Naujagimių skyriuje. Viena iš tyrimų krypčių mūsų klinikoje yra naujagimių kvėpavimo sistemos fiziologija ir patologija ankstyvame adaptaciniame periode. Išsamesnę medžiagą planuojame pateikti kitose publikacijose.

### Išvados

1. Elektrinio impedanso tomografija yra inovatyvus, neinvazyvus, saugus, nesukeliantis pašalinio poveikio išnešiotų ir neišnešiotų naujagimių plaučių funkcijos tyrimo metodas.
2. Šis tyrimo metodas leidžia prie ligonio lovos įvertinti ir monitoruoti spontaniškai kvėpuojančio naujagimio o taip pat naujagimio, kuriam taikoma pagalbinė kvėpavimo terapija, plaučių funkciją.
3. EIT ypatingai svarbi neišnešiotų naujagimių, kuriems reikalinga intesyvioji terapija, plaučių oringumo įvertinimui ir ilgalaikiam stebėjimui, siekiant maksimaliai padidinti pagalbinės kvėpavimo terapijos efektyvumą ir sumažinti jos galimą pašalinį poveikį.

### Literatūra

1. Miedema M, de Jongh F, Frerichs I, van Veenendaal M, van Kaam AH. The Effect of Airway Pressure and Oscillation Amplitude on Ventilation in Pre-Term Infants. *Eur Respir J* 2012; 40(2): 479–84; <https://doi.org/10.1183/09031936.00138311>
2. Dargaville P, Rimensberger P, Frerichs I. Regional Tidal Ventilation and Compliance during Stepwise Vital Capacity Maneuver. *Intensive Care Med* 2010; 36: 1953–61; <https://doi.org/10.1007/s00134-010-1995-1>
3. Miedema, Martijn, Frans H. de Jongh, Inez Frerichs, Mariëtte B. van Veenendaal, and Anton H. van Kaam. Changes in Lung Volume and Ventilation during Lung Recruitment in High-Frequency Ventilated Preterm Infants with Respiratory Distress Syndrome. *J Pediatr* 2011; 159(2): 199–

205.e2; <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.01.066>

4. Frerichs I, Hahn G, Schiffmann H, Berger C, Hellige G. Monitoring Regional Lung Ventilation by Functional Electrical Impedance Tomography during Assisted Ventilation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1999; 873: 493–505; <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1999.tb09498.x>
5. Frerichs I, Dargaville PA, Rimensberger PC. Regional Respiratory Inflation and Deflation Pressure-Volume Curves Determined by Electrical Impedance Tomography. *Physiol Meas* 2013; 34(6): 567–77; <https://doi.org/10.1088/0967-3334/34/6/567>
6. Viršilas E, Janulionis A, Liubšys A, Valiulis A. Plaučių funkcijos vaizdavimas elektrinio impedanso tomografija: klinikinis taikymas. *Sveikatos mokslai (Health Sciences in Eastern Europe)* 2020; 30 (1): 190-96; [https://doi.org/10.35988/sm-hs.2020.032\\_2](https://doi.org/10.35988/sm-hs.2020.032_2)
7. Bhatia R, Davis PG, Tingay DG. Regional Volume Characteristics of the Preterm Infant Receiving First Intention Continuous Positive Airway Pressure. *J Pediatr* 2017; 187: 80-88.e2; <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.04.046>
8. Miedema M, Burg PS, Beuger S, de Jongh FH, Frerichs I, van Kaam AH. Effect of Nasal Continuous and Biphasic Positive Airway Pressure on Lung Volume in Preterm Infants. *J Pediatr* 2013; 162(4): 691–97; <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.09.027>
9. Tingay DG, Rajapaksa A, Zannin E, Pereira-Fantini PM, Dellaca RL, Perkins EJ, Zonneveld CE, et al. Effectiveness of Individualized Lung Recruitment Strategies at Birth: An Experimental Study in Preterm Lambs. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2017; 312(1): L32–41; <https://doi.org/10.1152/ajplung.00416.2016>
10. Tingay DG, Bhatia R, Schmölzer GM, MJ Wallace, Zahra VA, Davis PG. Effect of Sustained Inflation vs. Stepwise PEEP Strategy at Birth on Gas Exchange and Lung Mechanics in Preterm Lambs. *Pediatr Res* 2014; 75(2): 288–94; <https://doi.org/10.1038/pr.2013.218>
11. Polglase GR, Tingay DG, Bhatia R, Berry CA, Kopotic RJ, Kopotic CP, et al. Pressure- versus Volume-Limited Sustained Inflations at Resuscitation of Premature Newborn Lambs. *BMC Pediatr* 2014; 14:43; <https://doi.org/10.1186/1471-2431-14-43>



12. Veneroni C, Tingay DG, McCall KE, Pereira-Fantini PM, Perkins EJ, Dargaville PA, Dellaca RL. Respiratory Mechanics during Initial Lung Aeration at Birth in the Preterm Lamb. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2020; <https://doi.org/10.1152/ajplung.00302.2019>
13. Tingay DG, Lavizzari A, Zonneveld CE, Rajapaksa A, Zannin E, Perkins E, Black D, et al. An Individualized Approach to Sustained Inflation Duration at Birth Improves Outcomes in Newborn Preterm Lambs. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2015; 309(10): L1138-1149; <https://doi.org/10.1152/ajplung.00277.2015>
14. Rossi F, Yagui AC, Haddad LB, Deutsch AD, Rebello CM. Electrical Impedance Tomography to Evaluate Air Distribution Prior to Extubation in Very-Low-Birth-Weight Infants: A Feasibility Study. *Clinics (Sao Paulo)* 2013; 68(3): 345–50; [https://doi.org/10.6061/clinics/2013\(03\)oa10](https://doi.org/10.6061/clinics/2013(03)oa10)
15. Veenendaal MB, Miedema M, de Jongh F, van der Lee JH, Frerichs I, van Kaam AH. Effect of Closed Endotracheal Suction in High-Frequency Ventilated Premature Infants Measured with Electrical Impedance Tomography. *Intensive Care Med* 2009; 35(12): 2130–34; <https://doi.org/10.1007/s00134-009-1663-5>
16. Tingay DG, Copnell B, Grant CA, Dargaville PA, Dunster KR, Schibler A. The Effect of Endotracheal Suction on Regional Tidal Ventilation and End-Expiratory Lung Volume. *Intensive Care Med* 2010; 36(5): 888–96; <https://doi.org/10.1007/s00134-010-1849-x>
17. Hough JL, Shearman AD, Liley H, Grant CA, Schibler A. Lung Recruitment and Endotracheal Suction in Ventilated Preterm Infants Measured with Electrical Impedance Tomography. *J Paediatr Child Health* 2014; 50(11): 884–89; <https://doi.org/10.1111/jpc.12661>
18. 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): 484–88; <https://doi.org/10.1038/pr.2014.201>
19. Boel L, Broad K, Chakraborty M. Non-Invasive Respiratory Support in Newborn Infants. *J Paediatr Child Health* 2018; 28(1): 6–12; <https://doi.org/10.1016/j.paed.2017.10.007>
20. Schrier L, Hadjipanayis A, Stiris T, Ross-Russell R, Valiulis A, Turner M, et al. Off-label use of medicines in neonates, infants, children and adolescents: a joint policy statement by the European Academy of Paediatrics and the European Society for Developmental, Perinatal and Paediatric Pharmacology. *Eur J Pediatr* 2020; 179: 839-47; <https://doi.org/10.1007/s0043>